இயற்பியல்

மேல்நிலை – முதலாம் ஆண்டு

தொகுதி - I

பாடநூல் மேம்பாட்டுக் குழுவின் பரிந்துரையின்
அடிப்படையில் திருத்தப்பட்டது.

தீண்டாமை ஒரு பாவச்செயல்

தீண்டாமை ஒரு பெருங்குற்றம்

தீண்டாமை மனிதத்தன்மையற்ற செயல்

தமிழ்நாட்டுப்
பாடநூல் கழகம்
கல்லூரிச் சாலை, சென்னை 600 006

© தமிழ்நாடு அரசு
முதல் பதிப்பு-2004
திருத்திய பதிப்பு-2007

குழுத் தலைவர்

முனைவர் சேது. குணசேகரன்

ரீடர்
முதுகலை மற்றும் ஆராய்ச்சி இயற்பியல் துறை
பச்சையப்பன் கல்லூரி, சென்னை 600 030.

மேலாய்வாளர்கள்

பெ. சர்வஜன ராஜன்

தேர்வு நிலை விரிவுரையாளர் (இயற்பியல்)
அரசு கலைக் கல்லூரி
நந்தனம், சென்னை 600 035

ஸ்ரீ. கேமசரி

தேர்வு நிலை விரிவுரையாளர் (இயற்பியல்)
இராணிமேரி கல்லூரி (தன்னாட்சி)
சென்னை 600 004

முனைவர் கா. மணிமேகலை

ரீடர் (இயற்பியல்)
எத்திராஜ் மகளிர் கல்லூரி
சென்னை 600 008

நூலாசிரியர்கள்

சு. பொன்னுசாமி

உதவிப் பேராசிரியர் (இயற்பியல்),
S.R.M. பொறியியல் கல்லூரி
S.R.M. அறிவியல் மற்றும்
தொழில்நுட்ப நிலையம்
(நிகர்நிலைப் பல்கலைக் கழகம்)
காட்டாங் கொளத்தூர் 603 203

சு. இராசராசன்

முதுகலைப் பட்டதாரி ஆசிரியர் (இயற்பியல்)
அரசு மேல்நிலைப் பள்ளி
கோடம்பாக்கம், சென்னை 600 024

கிரிஜா இராமானுஜம்

முதுகலைப் பட்டதாரி ஆசிரியர் (இயற்பியல்)
அரசு மகளிர் மேல்நிலைப் பள்ளி
அசோக் நகர், சென்னை 600 083

பு. லோகநாதன்

முதுகலைப் பட்டதாரி ஆசிரியர் (இயற்பியல்)
அரசு மகளிர் மேல்நிலைப் பள்ளி
திருச்செங்கோடு 637 211
நாமக்கல் மாவட்டம்

முனைவர் இரா. இராஜ்குமார்

முதுகலைப் பட்டதாரி ஆசிரியர் (இயற்பியல்)
தர்மமூர்த்தி ராவ் பகதூர் கலவல கண்ணன் செட்டி மேல்நிலைப் பள்ளி
சென்னை 600 011

முனைவர் N. விஜயன்

முதல்வர்
சீயோன் மெட்ரிக் மேல்நிலைப் பள்ளி
சேலையூர், சென்னை 600 073

தமிழ்மொழியில் ஆக்கியவர்

சு. இராசராசன்

முதுகலைப் பட்டதாரி ஆசிரியர் (இயற்பியல்)
அரசு மேல்நிலைப் பள்ளி
கோடம்பாக்கம், சென்னை 600 024

விலை ரூ.

பாடங்கள் தயாரிப்பு : தமிழ்நாடு அரசுக்காக
பள்ளிக்கல்வி இயக்ககம், தமிழ்நாடு

இந்நூல் 60 GSM தாளில் அச்சிடப்பட்டுள்ளது.

முன்னுரை

பள்ளிக்கல்வியில் மிக முக்கியமானதும் திருப்புமுனையாக அமைவதும் மேல்நிலைக் கல்வியாகும். பொதுவான கலைத்திட்டத்திலிருந்து இலக்கு நோக்கிய கலைத்திட்டத்திற்கு மாறக்கூடிய கட்டத்தில் மேல்நிலைக் கல்வி உள்ளது.

அடிப்படை அறிவியல் மற்றும் தொழிற்கல்விக்கான அடித்தளமாக இயற்பியல் பாடத்தை மாணவ மாணவியர் தேர்ந்தெடுக்கின்றனர். பொதுக் கல்வியிலும் தொழிற்கல்வியிலும் தேவையான அடிப்படை அறிவினை ஏற்படுத்த, பதினோராம் வகுப்பிற்கான இயற்பியல் பாடநூல், புதிய கருத்துகளுடன் அனைத்துத் தலைப்புகளிலும் அடிப்படைத் தகவல்களுடன் மாற்றம் செய்யப்பட்டு வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது.

ஒவ்வொரு பாடமும் அறிமுகம் மற்றும் பாடப்பொருள் என உருவாக்கப்பட்டுள்ளது. அனைத்துப் பாடங்களிலும் தெளிவான, தேவையான, சுருக்கமான விளக்கங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. பாடத்தின் இறுதியில் தீர்க்கப்பட்ட கணக்குகள் மற்றும் தன் மதிப்பீட்டு வினாக்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

மனப்பாடம் செய்வதைவிட கருத்துகளைப் புரிந்து கொள்வதென்பது மிக முக்கியமானதாகும். எனவே, பாடத்தை முழுமையாகப் புரிந்து கொள்ளச் செய்து மாணவ, மாணவியர் தாங்களாகவே தங்கள் எண்ணங்களை வெளிக்கொணரச் செய்வது அவசியமாகிறது. இயற்பியல் பாடத்தை ஆர்வமுடன் கற்கும் வகையில் இப்பாட நூலில் வாழ்க்கையுடன் தொடர்புடைய பயன்பாடுகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

ஆய்வு செய்யும் திறன்களையும் உற்றுநோக்கும் திறன்களையும் மாணவ மாணவியரிடத்தில் வளர்க்க முக்கியத்துவம் அளிக்கப்பட்டுள்ளது. அவர்களின் கற்றல் அனுபவங்கள் சமூக முன்னேற்றத்திற்கு உதவும் என நம்புகிறோம்.

இப்பாடநூலின் சிறப்புக் கூறுகள்.

- புதிய தகவல்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.
- படங்கள் தெளிவாக வரையப்பட்டுள்ளன.
- மாணவ மாணவியரின் காரணமறியும் திறனை வளர்க்கும் விதத்தில் தன்மதிப்பீட்டு வினாக்கள் (மாதிரிகள் மட்டுமே) கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.
- கணிதத்தின் அடிப்படையறிவின்றி இயற்பியலைப் புரிந்து கொள்ள முடியாது என்பதனால் சில கணிதக் கருத்துகளும் சமன்பாடுகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

தேர்விற்கு ஆயத்தம் செய்யும் போது. மாணவ மாணவியர் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியில் உள்ள வினாக்கள் / கணக்குகள் மட்டுமல்லாமல், பாடநூல் / பாடத்திட்டத்திலிருந்தும் கேட்கப்படக்கூடிய வினாக்கள் மற்றும் கணக்குகளுக்கும் விடையளிக்க ஆயத்தப்படுத்திக் கொள்ள வேண்டும்.

இந்தியத் துணைக்கோள் திட்டம் பற்றி இன்றியமையாத தகவல்களை அளித்த இந்திய விண்வெளி ஆய்வு நிறுவனத்திற்கு (ISRO) மனமார்ந்த நன்றி உரித்தாகுக!

முனைவர் சேது. குணசேகரன்
குழுத்தலைவர்

பாடத்திட்டம்
(180 பாட வேளைகள்)

அலகு – 1 இயல் உலகத்தின் தன்மையும் அளவீட்டியலும்
(7 பாட வேளைகள்)

இயற்பியல் – நோக்கம் – சமுதாயம் மற்றும் தொழில் நுட்பத்தில் இயற்பியலின் தொடர்பு

இயற்கையில் விசைகள் – ஈர்ப்பியல், மின்காந்த மற்றும் அணுக்கரு விசைகள்.

அளவீட்டியல் – அடிப்படை மற்றும் வழி அலகுகள் – நீளம், நிறை மற்றும் காலம் அளவிடுதல்.

அளவிடும் கருவிகளின் துல்லியத் தன்மையும் நுட்பமும், அளவிடுதலில் பிழைகள் – முக்கிய எண்ணுருக்கள், பரிமாணங்கள் – இயற்பியல் அளவுகளின் பரிமாணங்கள் – பரிமாணப் பகுப்பாய்வு – பயன்பாடுகள்.

அலகு– 2 இயக்கவியல்
(29 பாட வேளைகள்)

நேர்க்கோட்டில் இயக்கம் – நிலை காலம் வரைபடம் – வேகமும் திசைவேகமும், சீரான மற்றும் சீரற்ற இயக்கங்கள் – சீராக முடுக்கப்பட்ட இயக்கம் – தொடர்புகள்.

ஸ்கேலர் மற்றும் வெக்டர் அளவுகள் – வெக்டர்களின் கூட்டல் மற்றும் கழித்தல், அலகு வெக்டர், வெக்டர்களின் பகுப்பு – செவ்வகக் கூறுகள், வெக்டர்கள் பெருக்கல் – ஸ்கேலர், வெக்டர் பெருக்கற்பலன்.

இருபரிமாண இயக்கம் – எறியத்தின் இயக்கம் – எறியத்தின் வகைகள் – கிடைத்தள மற்றும் கிடைத்தளத்துடன் ஒரு கோணத்தில் எறியங்கள்,

விசையும் நிலைமமும் – நியூட்டனின் முதல் இயக்க விதி,

உந்தம் – நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதி – விசையின் அலகு – கணத்தாக்கம் **(Impulse)** நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்கவிதி - நேர்க்கோட்டு உந்த அழிவின்மை விதியும் பயன்பாடுகளும் – மைய விசைகளின் சமநிலை - முக்கோணவிதி, இணைகர விதி மற்றும் லாமியின் தேற்றம் - மெய்ப்பிக்கும் ஆய்வு.

சீரான வட்ட இயக்கம் - கோணத் திசைவேகம் - கோண முடுக்கம் - நேர்க்கோட்டு மற்றும் கோணத் திசைவேகங்களின் தொடர்பு - மையநோக்கு விசை - செங்குத்து வட்டத்தில் இயக்கம் - மிதிவண்டி ஓட்டி வளைதல் - சரிசமமான வட்டச் சாலையில் வாகனம் - விளிம்பு உயர்த்தப்பட்ட சாலையில் வாகனம்.

மாறா விசை மற்றும் மாறும் விசை செய்யும் வேலை - வேலையின் அலகு.

ஆற்றல் - இயக்க ஆற்றல், வேலை - ஆற்றல் தேற்றம் - நிலை ஆற்றல் - திறன்.

மோதல்கள் - ஒரு பரிமாண மீட்சி மற்றும் மீட்சியற்ற மோதல்கள்.

அலகு-3 சுழல் இயக்க விசையியல்
(14 பாட வேளைகள்)

இரு துகள் அமைப்பின் மையம் - பொதுவாக்கல் - பயன்பாடுகள் - பொருள்களின் சமநிலை, திண்மப் பொருளின் சுழற்சி மற்றும் சுழல் இயக்கச் சமன்பாடுகள், நேர்க்கோட்டு மற்றும் சுழற்சி இயக்கத்தை ஒப்பிடல்.

நிலைமத் திருப்புதிறன் மற்றும் அதன் முக்கியத்துவம் - சுழற்சியின் ஆரம் - மெய்ப்பித்தலுடன் தேற்றங்கள், நேரான மெல்லியத் தண்டு, வட்ட வளையம், வட்டத்தட்டு, உருளை மற்றும் கோளத்தின் நிலைமத் திருப்புத் திறன்.

விசையின் திருப்புத்திறன், கோண உந்தம், திருப்பு விசை - கோண உந்த அழிவின்மை.

அலகு - 4 ஈர்ப்பியலும் விண்வெளி அறிவியலும்
(16 பாடவேளைகள்)

ஈர்ப்பியலின் பொதுவிதி – ஈர்ப்பின் முடுக்கம் மற்றும் குத்துயரம், குறுக்குக்கோடுகள், ஆழம், புவியின் சுழற்சியைச் சார்ந்து g மாறுபடுதல், புவியின் நிறை, நிலைம மற்றும் ஈர்ப்பியல் நிறை.

ஈர்ப்புப் புல வலிமை - ஈர்ப்பு அழுத்தம் - புவிப்பரப்பின் அருகில் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் - விடுபடு வேகம் - சுற்றியக்கத் திசைவேகம் - எடையின்மை - துணைக்கோளின் இயக்கம் - ராக்கெட்டின் இயக்கம் - துணைக்கோள் ஏவுதல் - சுற்றுப்பாதைகள் மற்றும் ஆற்றல். புவி - நிலைத் துணைக் கோள்கள் மற்றும் துருவத் துணைக் கோள்கள் - பயன்பாடுகள் - ராக்கெட்டில் பயன்படும் எரிபொருள்கள் - இந்தியத் துணைக்கோள் திட்டம்.

சூரியக் குடும்பம் - சூரிய, புவிமையக் கொள்கை - கோள்கள் இயக்கம் பற்றிய கெப்ளர் விதிகள். சூரியன் - ஒன்பது கோள்கள் - சிறுகோள்கள் - வால் மீன்கள் - விண்வீழ் சிறு மற்றும் பெருகற்கள் - கோள்களின் அளவு – கோள்களின் நிறை - வெப்பநிலை மற்றும் வளிமண்டலம்.

அண்டம் - விண்மீன்கள் - வடிவவிண்மீன் குழுக்கள் - விண்மீன் திரள்கள் - பால்வழி விண்மீன் திரள் - அண்டத்தின் தோற்றம்.

அலகு - 5 திட, பாய்மப் பொருள்களின் இயந்திரவியல்
(18 பாட வேளைகள்)

பருப்பொருளின் நிலைகள் - அணுவிடை மற்றும் மூலக்கூறிடை விசைகள்.

திடப்பொருள்கள் - மீட்சித்தன்மை, தகைவு-திரிபு தொடர்பு, ஹீக் விதி -

மெய்ப்பிக்கும் ஆய்வு - மூவகை மீட்சிக் குணகங்கள் - பயன்பாடுகள் (பளு தூக்கிகள், பாலம்).

பாய்மத் தம்பத்தினால் அழுத்தம் – பாஸ்கல் விதியும் பயன்பாடுகளும் (நீர்மயியல் உயர்த்தி, நீர்மயியல் தடை)பாய் பொருள் அழுத்தத்தின் மீதான ஈர்ப்பின் விளைவு.

பரப்பு ஆற்றலும் பரப்பு இழுவிசையும், சேர்கோணம் – (i) துளிகள் மற்றும் குமிழ்கள் உருவாதல் (ii) நுண்புழை ஏற்றம் (iii) சலவைத்தூள்களின் செயல் போன்றவற்றில் பரப்பு இழுவிசையின் பயன்பாடுகள்.

பாகியல் எண்– ஸ்டோக்ஸ் விதி – முற்றுத் திசைவேகம். அருவிக்கோட்டியக்கம் – கொந்தளிப்பு இயக்கம் – ரெனால்டு எண் - பெர்னௌலியின் தேற்றம் - பயன்பாடுகள் - ஆகாயவிமான இறக்கை உயர்த்தப்படுதல்.

அலகு - 6 அலைவுகள்
(12 பாடவேளைகள்)

சீரான கால இடைவெளி இயக்கம் - அலைவு காலம், அதிர்வெண், இடப்பெயர்ச்சி (காலத்தின் சார்பு).

எளிய சீரிசை இயக்கம் (SHM) - வீச்சு, அதிர்வெண், கட்டம் - சீரான வட்ட இயக்கம் ஒரு SHM.

சுருள்வில், திரவத்தம்பம், தனிஊசல் - இவற்றின் அலைவுகள் - அலைவு காலத்தின் சமன்பாடு - மீள் விசை - விசை மாறிலி. SHM-ல் ஆற்றல், இயக்க மற்றும் நிலையாற்றல்கள் - ஆற்றல் அழிவின்மை விதி.

இயல்பு, திணிப்பு மற்றும் தடையுறு அலைவுகள். ஒத்ததிர்வு.

அலகு - 7 அலை இயக்கம்
(17 பாட வேளைகள்)

அலை இயக்கம் - நெட்டலைகளும் குறுக்கலைகளும் - v, n, λ- இவற்றிற்கிடையேயான தொடர்பு.

வெவ்வேறு ஊடகங்களில் அலையியக்க வேகம் - நியூட்டனின் சமன்பாடு - லாப்லஸின் திருத்தம்.

முன்னேறு அலை - இடப்பெயர்ச்சிச் சமன்பாடு - சிறப்பியல்புகள்.

மேற்பொருந்துதல் தத்துவம், குறுக்கீட்டு விளைவு - ஒலி மற்றும் செறிவு நிலை (level) - விம்மல்கள், நிலையான அலைகள் (கணிதவியல் விளக்கம்) - கம்பிகள் மற்றும் குழாய்களில் நிலையான அலைகள் - சுரமானி - ஒத்ததிர்வு காற்றுத் தம்பம் - அடிப்படை அதிர்வு மற்றும் சீரிசைகள்.

டாப்ளர் விளைவு - பயன்பாடுகள்.

அலகு - 8 வெப்பமும் வெப்ப இயக்கவியலும்
(17 பாட வேளைகள்)

வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கை - எடுகோள்கள் - வாயுவின் அழுத்தம் - இயக்க ஆற்றலும், வெப்பநிலையும் - உரிமைப்படிகள் (ஓரணு, ஈரணு, மூவணு மூலக்கூறுகள்) ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதி - அவகட்ரோ எண்.

வெப்பச் சமநிலையும் வெப்பநிலையும் (வெப்ப இயக்கவியலின் சுழி விதி), வெப்பம், வேலை மற்றும் அக ஆற்றல். தன் வெப்பம் - மாறா பருமன் மற்றும் மாறா அழுத்தத்தில் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன். C_p மற்றும் C_vக்கு இடையேயான தொடர்பு.

வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதி - வெப்ப இயக்கவியல் அமைப்பு செய்யும் வேலை - மீள் மற்றும் மீளா நிகழ்வுகள் - சம வெப்ப நிலை மற்றும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகள் - கார்னோ எஞ்சின், குளிர்பதனி - இயக்குதிறன் - வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதி.

வெப்ப மாற்றம் - கடத்தல், சலனம் மற்றும் கதிர்வீசல் - திடப்பொருள்களின் வெப்பம் கடத்து திறன் - கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு - ப்ரிவோவின் கொள்கை - கிர்ச்சாப் விதி - வியன் இடப் பெயர்ச்சி விதி, ஸ்டீபனின் விதி (கூற்றுகள் மட்டும்), நியூட்டனின் குளிர்வு விதி. சூரிய மாறிலி மற்றும் சூரியனின் புறப்பரப்பு வெப்பநிலை – பைர்ஹீலியோ மீட்டர்.

அலகு - 9 கதிர் ஒளியியல்
(16 பாட வேளைகள்)

ஒளி எதிரொளிப்பு - சமதள மற்றும் வளைவுப் பரப்புகளில் எதிரொளிப்பு.

முழுஅக எதிரொளிப்பும் பயன்பாடுகளும் - ஒளியின் திசைவேகம் கணக்கிடுதல் - மைக்கல்சன் முறை.

ஒளிவிலகல் - கோளக லென்சுகள் - மெல்லிய லென்சின் சமன்பாடு, லென்சு உருவாக்குபவர் சமன்பாடு - உருப்பெருக்கம் - லென்சின் திறன் – மெல்லிய லென்சுகளின் கூட்டமைப்பு.

முப்பட்டகத்தில் ஒளிவிலகல் - நிறப்பிரிகை - நிறமாலைமானி - μ கணக்கிடுதல் - வானவில்.

அலகு - 10 காந்தவியல்
(10 பாட வேளைகள்)

புவி காந்தப்புலம் மற்றும் காந்தக் கூறுகள் - சட்டக் காந்தம் - காந்தப்புலக் கோடுகள்.

காந்த இருமுனையின் (சட்டக் காந்தம்) அச்சில் மற்றும் அச்சின் செங்குத்துக் கோட்டில் காந்தப்புலம்.

சீரான காந்தப் புலத்தில் காந்த இருமுனைமீது ஏற்படும் திருப்பு விசை.

டேஞ்ஜென்ட் விதி - விலகு காந்தமானி - Tan A மற்றும் Tan B நிலைகள்.

பொருள்களின் காந்தப் பண்புகள் - காந்தமாக்கச் செறிவு - காந்த ஏற்புத்திறன், காந்தத் தூண்டல் மற்றும் உட்புகுதிறன்.

டயா, பரா மற்றும் பெர்ரோ காந்தப் பொருள்கள் (எடுத்துக்காட்டுகளுடன்) - காந்தத் தயக்கம்.

சோதனைகள்

(12 × 2 = 24 பாடவேளைகள்)

1. கம்பிப் பொருளொன்றின் அடர்த்தியை திருகு அளவி மற்றும் இயற்பியல் தராசு உதவியுடன் கணக்கிடுதல்.
2. தனிஊசல் - (i) L மற்றும் T (ii) L மற்றும் T^2 வரைபடங்கள் வரைந்து, சிறந்தது எது எனக் கண்டறிதல். இதன்மூலம் ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுதல்.
3. வெர்னியர் அளவி மற்றும் இயற்பியல் தராசு கொண்டு (i) உருளை மற்றும் (ii) திடக் கோளம் போன்றவற்றின் பரிமாணங்களையும் நிறையையும் அளவிடுதல். நிலைமத் திருப்பு திறன்களை கணக்கிடுதல்.
4. சியர்ள் கருவியைக் கொண்டு கம்பிப் பொருள் ஒன்றின் யங் குணகத்தைக் கண்டறிதல்.
5. அலைவுகள் முறையில் சுருள்வில் ஒன்றின் சுருள் மாறிலியைக் கணக்கிடுதல்.
6. ப்வசொய் ஓட்ட முறையில் பாகியல் எண்ணைக் கணக்கிடுதல்.
7. கொடுக்கப்பட்ட கோளகப் பொருளின் முற்றுத் திசைவேகத்தைக் கண்டறிவதன் மூலம் திரவத்தின் பாகியல் எண்ணைக் கணக்கிடுதல்.
8. நுண்புழை ஏற்றம் முறையில் நீரின் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடுதல்.
9. சுரமானியைக் கொண்டு இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பியின் அதிர்வு விதிகளை சரிபார்த்தல்.
10. ஒத்ததிர்வு காற்றுத்தம்பக் கருவியைக் கொண்டு காற்றில் அறைவெப்பநிலையில் ஒலியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுதல்.
11. குழிஆடியின் குவியத் தொலைவினைக் கணக்கிடுதல்.
12. காந்தத் துருவத்தளத்தில் வைக்கப்பட்ட காந்தம் ஒன்றின் (i) வடமுனை தெற்கு நோக்கியும் (ii) வடமுனை வடக்கு நோக்கியும் உள்ளபோது காந்தப் புலத்தை வரைதல் மற்றும் சுழிப்புள்ளிகளைக் குறித்தல்.

பொருளடக்கம்

பக்கம்

கணிதவியல் குறிப்புகள் 1

1. இயல் உலகத்தின் தன்மையும் அளவீட்டியலும் 13

2. இயக்கவியல் 38

3. சுழல் இயக்கவிசையியல் 128

4. ஈர்ப்பியலும் விண்வெளி அறிவியலும் 159

5. திட, பாய்மப் பொருள்களின் இயந்திரவியல் ... 208

பின்னிணைப்பு 258

மடக்கை அட்டவணைகள் 267

(அலகு 6 முதல் 10 வரை தொகுதி இரண்டில் தொடர்கிறது)

1. இயல் உலகத்தின் தன்மையும் அளவீட்டியலும்

தங்களைச் சுற்றியுள்ள உலகத்தைப் புரிந்துகொள்ள, தொடர்ச்சியான தீவிரமான முயற்சிகளை மனிதர்கள் மேற்கொண்டிருந்தனர் என்பது அவர்களின் வரலாற்றிலிருந்து தெரிகிறது. இரவும் பகலும் மாறி மாறி வருதல், பருவக்காலச் சுழற்சி, எரிமலைகள், வானவில்கள், கிரகணங்கள் மற்றும் விண்மீன்கள் நிறைந்த இரவு வானம் போன்றவை, அவர்களின் வியக்கத்தக்க ஆராய்ச்சிப் பொருள்களாக அமைந்திருந்தன. தகவல்களை அறிந்து கொள்ளும் வேட்கையுடைய மனிதர்கள், தங்களைச் சுற்றி ஏற்படக்கூடியவற்றை கவனமாக உற்று நோக்கியதன் மூலம், இயற்கை நிகழ்வுகளையும் புரிந்து கொள்ள முயற்சித்தார்கள். இயற்கையைப் புரிந்து கொள்ளும் இந்த வேட்கைதான் இன்றைய நவீன அறிவியலுக்கும், தொழில் நுட்பத்திற்கும் வழிவகுத்துள்ளது.

1.1 இயற்பியல்

அறிந்து கொள்ளுதல் என்ற பொருளுடைய ''சைன்டியா'' **(Scientia)** என்ற சொல் அறிவியல் **(Science)** எனப்படுகிறது. முறையான உற்றுநோக்கல், காரணம் அறிதல், மாதிரிகள் மற்றும் கருத்தியல் விளக்கம் தருவித்தல் போன்றவற்றை உள்ளடக்கியதே அறிவியல் முறைகளாகும். பல்வேறு பிரிவுகளைக் கொண்ட அறிவியலில் இயற்பியலும் ஒன்று. கிரேக்கச் சொல்லான இயற்பியலின் **(Physics)** பொருள் இயற்கை என்பதாகும். மிகவும் அடிப்படை அறிவியலான இயற்பியல், இயற்கை மற்றும் இயற்கை நிகழ்வுகளை விளக்குகிறது. அறிவியலைப் புரிந்து கொள்வது என்பது இயற்பியலைப் புரிந்து கொள்வதிலிருந்து தொடங்குகிறது. இயற்பியலின் வழியாக, ஒவ்வொரு நாளும் இயற்கையைப் பற்றி ஆழமாகப் புரிந்துகொள்ள முடிகிறது.

அனுபவத்தின் அடிப்படையிலான அறிவே இயற்பியல் ஆகும். இயல் உலகத்தைப் பற்றி நாம் அறிந்து கொண்டவை மற்றும் அவற்றை நிர்ணயிக்கும் தத்துவங்கள் போன்றவை, இயற்கை நிகழ்வுகளை உற்றுநோக்கியதால் ஏற்பட்டதாகும். இயற்பியலில், எந்த ஒரு தத்துவமும் உற்றுநோக்கிய மற்றும் அளந்தறியப்பட்ட நிகழ்வுகளுடன் ஒத்துப்போக வேண்டும். எனவே, அளந்தறியப்படும் அடிப்படை அறிவியல், இயற்பியல் எனப்படுகிறது.

1.1.1 இயற்பியலின் நோக்கம்

இயந்திரவியல், ஒளியியல், வெப்பம் மற்றும் வெப்ப இயக்கவியல், மின்னியக்கவியல், அணு இயற்பியல் மற்றும் அணுக்கரு இயற்பியல் போன்ற பல்வேறு

உட்பிரிவுகளின் மூலம் இயற்பியலின் நோக்கத்தினைப் புரிந்துகொள்ளலாம். துகள்கள் மற்றும் துகள்கள் அடங்கிய பொது அமைப்பின் இயக்கத்தைப் பற்றிக் கூறுவது இயந்திரவியல் ஆகும். தொலைநோக்கிகளின் செயல்பாடு மற்றும் மெல்லேடுகளில் வண்ணங்கள் ஏற்படுவது போன்றவை ஒளியியலில் விளக்கப்படுகின்றன. வெப்பநிலை மாற்றத்தின் போது, வாயுவில் ஏற்படும் அழுத்த, பருமன் மாற்றங்களையும், குளிர்பதனி (refrigerator) போன்றவற்றையும், வெப்பம் மற்றும் வெப்ப இயக்கவியல் பிரிவு விளக்குகிறது.

மின்னூட்டத்துகள்களையும், காந்தப் பொருள்களையும், மின்னோட்டம் நிகழும் கடத்தியைச் சுற்றிய காந்தப்புலத்தையும் மற்றும் ரேடியோ அலைகள் பரவுவதையும் மின்னியக்கவியல் விளக்குகிறது. பருப்பொருள்களின் கட்டமைப்பினையும், உள்ளிருப்பனவற்றையும், அணுக்களும் அணுக்கருக்களும் எவ்வாறு எலக்ட்ரான், போட்டான் போன்ற அடிப்படைத் துகள்களுடன் இடைவினை புரிகின்றன என்பதையும் அணு மற்றும் அணுக்கரு இயற்பியல் விளக்குகின்றன.

நம்மைச் சுற்றி நடைபெறக் கூடியவற்றைப் பற்றி அறிவதும், ஒரு முடிவுக்கு வருவதுமே இயற்பியலின் அடிப்படை நோக்கமாகும். நாம் உற்றுநோக்கியவற்றை, காரணி-விளைவுத் (cause-effect) தொடர்பைக் கொண்டு புரிந்து கொள்ள இயற்பியல் விதிகள் துணைபுரிவதால் சிக்கல் நிறைந்த கருத்தும் எளிமையாகத் தோன்றும்.

இயற்பியல், பல வழிகளில் தூண்டுகோலாக இருக்கிறது. சில அடிப்படைக் கருத்துக்களும், விதிகளும் பல நிகழ்வுகளை விளக்குவது ஒரு வகைத் தூண்டுகோலாகும். இயற்கையின் இரகசியங்களைத் தெரிந்து கொள்ள - புதிய சோதனைகளைச் செய்யத் தூண்டுகோலாக உள்ளது. பயன்பாட்டு இயற்பியல் மேலும் விரும்பத்தக்கதாக உள்ளது. விதிகளையும் கருத்துக்களையும் பயன்பாட்டிற்கு மாற்ற, உறுதியான - திறமையான முயற்சி தேவைப்படுகிறது.

1.1.2 இயற்பியலும், சமுதாயம் மற்றும் தொழில் நுட்பவியலும்

இயற்பியல் கோட்பாடுகளை, நடைமுறையில் பயன்படுத்துவது தொழில் நுட்பம் (technology) எனப்படும். நீராவி இயந்திரத்தின் கண்டுபிடிப்பு மனித நாகரீகத்தில் முக்கிய தாக்கத்தை ஏற்படுத்தியது. 1933-ஆம் ஆண்டு வரை, அணுக்களில் இருந்து ஆற்றலைப் பெற முடியும் என்று ரூதர்போர்டு அறிந்திருக்கவில்லை. ஆனால் 1938-ஆம் ஆண்டில் ஹான் மற்றும் மெய்னர், யுரேனியத்தை நியூட்ரானைக் கொண்டு பிளக்க முடியும் என்று கண்டுபிடித்தனர். இதுவே, அணு ஆயுதங்கள் மற்றும் அணுக்கரு உலைகளுக்கு அடிப்படையாக அமைந்தது. ஆற்றலின் மாற்று மூலங்களைக் கண்டறிவதில் இயற்பியலின் பங்கு குறிப்பிடத்தக்கது ஆகும். புவியினுள் புதைந்திருக்கும் படிம எரிபொருள்களை (fossil fuel) மிக வேகமாகவும், அதிகமாகவும், நாம் பயன்படுத்தி வருவதால், ஆற்றலின் புதிய, மலிவான மூலங்களை உடனடியாகக் கண்டுபிடிக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்பட்டுள்ளது. சூரிய

ஆற்றலிலிருந்தும், புவி வெப்ப ஆற்றலிலிருந்தும் மின்சாரம் உற்பத்தி செய்வது தற்போது சாத்தியமானாலும் கூட, அந்த இலக்கினை அடையக் கடினமாக உள்ளது. IC (Integrated Circuit) என்றழைக்கப்படும் தொகுப்புச் சுற்று, இயற்பியலின் மற்றொரு பயன்பாடு ஆகும். IC-க்களின் வளர்ச்சியும், செயல்முறைகளின் வேகமும், கணிணித் தொழிலை (computer) கடந்த இருபதாண்டுகளில் அளவுகடந்த முன்னேற்றமடையச் செய்துள்ளன. குறைவான உற்பத்திச் செலவும், மேம்பட்ட உற்பத்தித் தொழில் நுட்பமும், விலை மலிவான கணிணிகளை தற்போது உருவாக்கக் காரணமாயிற்று.

தொழில் நுட்பம் அனைத்தும் மக்களுக்குப் பயன்பட வேண்டும். நமது சமுதாயம், மேன்மேலும், அறிவியலுடன் தொடர்புடையதாக மாறி வருகிறது. இயற்பியலின் அடிப்படை விதிகளைப் புரிந்து கொள்ளும் திறனை வளர்த்துக் கொள்வதன் மூலம், சமூகத்தில் நாம் மேம்பட்ட நிலையை அடைய முடியும்.

1.2 இயற்கையின் விசைகள்

விசையின் சரியான வரையறையை முதன் முதலில் வகுத்தவர் சர் ஐசக் நியூட்டன் ஆவார்.

பொருளின் ஓய்வு நிலையையோ அல்லது இயக்க நிலையையோ மாற்ற அதன் மீது செயல்படுத்தப்படும் புறக்காரணி, விசையாகும்.

இயற்கையில் அடிப்படையான விசைகள் நான்கு உள்ளன. அவைகள் ஈர்ப்பியல் விசை, மின்காந்த விசை, வலிமைமிக்க அணுக்கருவிசை மற்றும் வலிமைகுன்றிய அணுக்கரு விசை ஆகும்.

ஈர்ப்பியல் விசை

அண்டத்தில் உள்ள ஏதேனும் இரு பொருள்களுக்கு இடையே செயல்படுவது ஈர்ப்பியல் விசையாகும். இவ்விசையானது, பொருள்களின் நிறைகளைச் சார்ந்த கவர்ச்சி விசையாகும். நியூட்டனின் ஈர்ப்பியல் விதிப்படி, ஈர்ப்பியல் விசையானது, நிறைகளின் பெருக்கற்பலனுக்கு நேர்த்தகவிலும், அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்த்தகவிலும் இருக்கும். அடிப்படை விசைகளில், ஈர்ப்பியல் விசையே மிகவும் வலிமை குன்றிய விசையாகும். ஆனால், அண்டத்தில் நெடுந்தொலைவிற்குச் செயல்படக் கூடியது. மற்ற விசைகளைப் போல் அல்லாமல், பொதுவாக அனைத்துப் பருப்பொருள்களிலும், ஏன், ஆற்றலிலும் செயல்படக்கூடிய ஒரு கவர்ச்சி விசையாக இவ்விசை இருக்கிறது.

மின்காந்த விசை

எலக்ட்ரான்கள் போன்ற இரு மின்னூட்டத் துகள்களுக்கிடையே அல்லது மின்னோட்டம் நிகழும் இரு கடத்திகளுக்கிடையே செயல்படுவது மின்காந்த விசையாகும். இது, வேறின மின்னூட்டங்களுக்கு கவர்ச்சி விசையாகவும், ஓரின

மின்னூட்டங்களுக்கு விலக்கு விசையாகவும் இருக்கும். மின்காந்த விசை, எதிர்த் தகவு இருமடி விதிக்கு உட்படுகிறது. ஈர்ப்பியல் விசையுடன் ஒப்பிடும்போது, இவ்விசை மிக்க வலிமையுடையதாக இருக்கிறது. நிலை மின்னியல் மற்றும் காந்த விசைகளின் தொகுப்பே மின்காந்த விசையாகும்.

வலிமைமிக்க அணுக்கருவிசை

அடிப்படை விசைகளில், மிகவும் வலிமை உடையது இவ்விசை ஆகும். அதே சமயத்தில், இவ்விசையானது 10^{-15} m என்ற குறுந்தொலைவிற்கு மட்டுமே செயல்படும். அணுவின் அணுக்கருவில் புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் ஒன்றிணைத்து வைப்பது இவ்விசையே.

வலிமை குன்றிய அணுக்கரு விசை

β - சிதைவு போன்ற குறிப்பிட்ட சிலவகை அணுக்கரு வினைகளில் இவ்விசை முக்கியமானதாக உள்ளது. ஈர்ப்பியல் விசை அளவிற்கு, இது வலிமை குன்றியது அல்ல.

1.3 அளவீட்டியல்

பொருள்களின் பண்புகளை அறிந்து கொள்ளும் அறிவியலின் பிரிவு என இயற்பியலை வரையறை செய்யலாம். பொருள்களின் பண்புகளைப் பற்றி புரிந்து கொள்ள, நீளம், நிறை, காலம் போன்ற இயற்பியல் அளவுகளை அளவீடு செய்தல் இன்றியமையாதது ஆகும். இயற்பியல் அளவுகளை அளவீடு செய்வது, இயற்பியலின் குறிப்பிடத்தக்க சிறப்பம்சம் ஆகும்.

1.3.1 அடிப்படை அளவுகள் மற்றும் வழி அளவுகள்

இயற்பியல் அளவுகளை, அடிப்படை அளவுகள் மற்றும் வழி அளவுகள் என இருவகைப்படுத்தலாம். ***மற்ற எந்த இயற்பியல் அளவுகளாலும் குறிப்பிடப்பட முடியாத அளவுகள் அடிப்படை அளவுகள் எனப்படும்.*** நீளம், நிறை, காலம், வெப்பநிலை போன்றவை அடிப்படை அளவுகளுக்கு எடுத்துக்காட்டுகள் ஆகும். ***அடிப்படை அளவுகளால் குறிப்பிடக்கூடிய அளவுகளை வழி அளவுகள் எனலாம்.*** பரப்பு, கன அளவு, அடர்த்தி போன்றவை வழி அளவுகளுக்கு எடுத்துக்காட்டுகள் ஆகும்.

*1.3.2 அலகு **(Unit)***

அளவு (quantity) ஒன்றை அளந்தறிய, நாம் எப்போதும் ஒருசில படித்தர (standard) அளவுடன், அதனை ஒப்பிடுகிறோம். கயிறு ஒன்றின் நீளம் 10 மீட்டர் என்பதன் பொருள் என்ன? 1 மீட்டர் நீளமுடைய பொருளொன்றின் நீளத்தைப் போல் கயிறு 10 மடங்கு நீளமுள்ளது. இங்கு மீட்டர் என்பது படித்தர அளவாகும். இந்த படித்தர அளவு அலகு எனப்படும்.

கொடுக்கப்பட்டுள்ள இயற்பியல் அளவுடன் ஒப்பிடப் பயன்படும் ஒரு நிறுவப்பட்ட படித்தர அளவு, இயற்பியல் அளவின் அலகு என வரையறுக்கப்படுகிறது.

அடிப்படை அளவுகளை அளந்தறியும் அலகுகள் அடிப்படை அலகுகள் எனவும், வழி அளவுகளை அளந்தறியும் அலகுகள் வழி அலகுகள் எனவும் கூறப்படுகின்றன.

*1.3.3 **SI** அலகு முறை **(System International de Units)***

முற்காலத்தில் இயற்பியல் அளவுகளை அளவிட பல அலகிடும் முறைகள் பின்பற்றப்பட்டன. பிரிட்டிஷ் முறையான அடி - பவுண்ட் - நொடி அல்லது fps முறை, காஸியன் (Gaussian) முறையான சென்டிமீட்டர்-கிராம் - நொடி அல்லது cgs முறை, மீட்டர் - கிலோகிராம் - நொடி அல்லது mks முறை ஆகிய மூன்று முறைகள் பின்பற்றப்பட்டன. ஒரு சீரான ஒழுங்குமுறையைப் பின்பற்றுவதற்காக 1960-ம் ஆண்டில் நடைபெற்ற எடைகள் மற்றும் அளவீடுகள் மாநாட்டில், SI அலகு முறை உருவாக்கப்பட்டு, அனைவராலும் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது. இம்முறையானது, சில மாற்றங்களுடன் கூடிய mks முறையாகும். அதாவது நியாயமான mksA (Rationalised metre kilogram second ampere - RmksA) என்பது SI முறையாகும். இயற்பியலில் உள்ள அனைத்து இயற்பியல் அளவுகளுக்கும் அலகுகளைப் பெற இந்த நியாயமான தன்மை அவசியமாகிறது.

SI அலகு முறையில் ஏழு அடிப்படை அளவுகளும் இரண்டு துணை அளவுகளும் உள்ளன. அவைகள் அட்டவணை 1.1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 1.1 SI அலகுகள்

இயற்பியல் அளவுகள்	அலகுகள்	குறியீடு
அடிப்படை அளவுகள்		
நீளம்	மீட்டர் (metre)	m
நிறை	கிலோகிராம் (kilogram)	kg
காலம்	நொடி (second)	s
மின்னோட்டம்	ஆம்பியர் (ampere)	A
வெப்பநிலை	கெல்வின் (kelvin)	K
ஒளிச்செறிவு	கேண்டலா (Candela)	Cd
பொருளின் அளவு	மோல் (mole)	mol
துணை அளவுகள்		
தளக்கோணம்	ரேடியன் (radian)	rad
திண்மக் கோணம்	ஸ்டிரேடியன் (steradian)	sr

*1.3.4 **SI** முறையின் சிறப்பியல்புகள்*

SI முறையானது, மற்ற அலகிடும் முறைகளை விடச் சிறந்தது. SI முறையில் உள்ள சில சிறப்பியல்புகள், அதனை நடைமுறைப்படுத்த உகந்ததாக உள்ளன. நிலையானதும் மீளக் கொணர்தலும் ஆகிய இரு முக்கியத் தன்மைகள், எந்த ஒரு படித்தர அலகிற்கும் அவசியமாகின்றன. அணுக்களின் பண்புகள் அடிப்படையில் அமைந்ததால், SI படித்தர அலகுகள் காலத்தைப் பொருத்து மாறாது. மேலும், *SI அலகு முறை, ஓரியல் (coherent) முறையாக உள்ளது. ஏனெனில், சில குறிப்பிட்ட அடிப்படை அலகுகளின் பெருக்கல் மற்றும் துணைப் பெருக்கல் மதிப்புகளால் வழி அலகுகள் பெறப்படுகின்றன.* அட்டவணை 1.2-ல் சில வழி அளவுகளும் அவற்றின் அலகுகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 1.2 வழி அளவுகளும் அவற்றின் அலகுகளும்

இயற்பியல் அளவு	சமன்பாடு	அலகு
பரப்பு	நீளம் × அகலம்	m^2
கன அளவு (பருமன்)	பரப்பு × உயரம்	m^3
திசைவேகம்	இடப்பெயர்ச்சி / காலம்	$m\ s^{-1}$
முடுக்கம்	திசைவேகம் / காலம்	$m\ s^{-2}$
கோணத் திசைவேகம்	கோண இடப்பெயர்ச்சி / காலம்	$rad\ s^{-1}$
கோண முடுக்கம்	கோணத் திசைவேகம் / காலம்	$rad\ s^{-2}$
அடர்த்தி	நிறை / கன அளவு	$kg\ m^{-3}$
உந்தம்	நிறை × திசைவேகம்	$kg\ m\ s^{-1}$
நிலைமத் திருப்பு திறன்	நிறை × (தொலைவு)^2	$kg\ m^2$
விசை	நிறை × முடுக்கம்	$kg\ m\ s^{-2}$ (அ) N
அழுத்தம்	விசை / பரப்பு	$N\ m^{-2}$ (அ) Pa
ஆற்றல் (வேலை)	விசை × தொலைவு	N m or J
கணத்தாக்கு விசை	விசை × காலம்	N s
பரப்பு இழுவிசை	விசை / நீளம்	$N\ m^{-1}$
விசையின் திருப்புத் திறன் (திருப்பு விசை)	விசை × தொலைவு	N m
மின்னூட்டம்	மின்னோட்டம் × காலம்	A s
மின்னோட்ட அடர்த்தி	மின்னோட்டம் / பரப்பு	$A\ m^{-2}$
காந்தத் தூண்டல்	விசை / (மின்னோட்டம் × நீளம்)	$N\ A^{-1}\ m^{-1}$

1.3.5 **SI படித்தரங்கள் (SI Standards)**

நீளம்

இரு புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு நீளம் என வரையறுக்கப்படுகிறது. நீளத்தின் SI அலகு மீட்டர் ஆகும்.

கிரிப்டான் மின்னிறக்க விளக்கில் (lamp) கிரிப்டான்-86 என்ற தனித்தனியான அணுக்களால் உமிழப்பட்ட ஆரஞ்சு - சிவப்பு ஒளியின் 1 650 763.73 அலை நீளங்கள் ஒரு படித்தர மீட்டருக்குச் சமம்.

நிறை

பொருளொன்று பெற்றுள்ள பருப்பொருளின் அளவு நிறை ஆகும். இது வெப்பநிலையையும் அழுத்தத்தையும் பொருத்ததல்ல. நிறையானது இடத்திற்கு இடம் மாறுபடாது. நிறையின் அலகு கிலோகிராம் ஆகும்.

பிரான்ஸில், பாரீசுக்கு அருகில் சவ்ரெஸ் என்ற இடத்தில், எடைகள் மற்றும் அளவீடுகளின் அனைத்துலக நிறுவனத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள பிளாட்டினம் - இரிடியம் உலோகக் கலவையிலான உருளையின் நகலின் நிறை ஒரு கிலோகிராமிற்குச் சமம் ஆகும்.

அணுவின் அடிப்படையிலான படித்தர நிறை, இதுவரை ஏற்றுக்கொள்ளப்படவில்லை. ஏனெனில், பெரிய அளவுகோல் போன்று, துல்லியமாக அணுவின் அளவுகோலில் நிறைகளை அளந்தறிய முடியவில்லை.

காலம்

1960-ஆண்டு வரை படித்தர காலம், சராசரி சூரிய நாளைக் கொண்டு கணக்கிடப்பட்டது. அதாவது, தீர்க்கரேகை வழியாக, மிக உயரமான புள்ளியில் சூரியன் கடக்கக்கூடிய அடுத்தடுத்த இரு நிகழ்வுகளுக்கான கால இடைவெளியைக் கொண்டு காலம் கணக்கிடப்பட்டது. ஒரு ஆண்டின் சராசரியாக அது கணக்கிடப்பட்டது. காலத்தின் SI அலகான நொடி, 1967-ஆம் ஆண்டு அணுவின் படித்தரத்தில் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது.

ஒரு படித்தர நொடி என்பது, சீசியம் -133 அணுவின் இரு அடி ஆற்றல் நிலைகளின், மீநுண்ணிய மட்டங்களுக்கிடையே சீரான பரிமாற்றம் நிகழ்வதால் ஏற்படும் கதிர்வீச்சிற்குரிய 9 192 631 770 அலைவுக் காலங்களாகும்.

ஆம்பியர்

வெற்றிடத்தில், ஒரு மீட்டர் இடைவெளியில் வைக்கப்பட்ட, புறக்கணிக்கத்தக்க குறுக்குப் பரப்பு உடைய, இரு முடிவில்லா நீளங்கள் உடைய இணைக் கடத்திகள் வழியே ஒரு மீட்டர் நீளத்தில் பாயும் சீரான மின்னோட்டம், அவ்விரு கடத்திகளுக்கிடையே 2×10^{-7} N விசையை ஏற்படுத்தினால், அம் மின்னோட்டம் ஒரு ஆம்பியர் எனப்படும்.

கெல்வின்

கெல்வின் என்பது நீரின் முப்புள்ளியில் *(triple point) வெப்ப இயக்கவியலின் வெப்பநிலையில் $\frac{1}{273.16}$ பின்னப்பகுதி ஆகும்.

கேண்டிலா

ஒளிமூலம் ஒன்று உமிழும் 540×10^{12} Hz அதிர்வெண் உடைய ஒற்றை நிறக் கதிர்வீச்சின் செறிவு, ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் ஒரு ஸ்டிரேடியனுக்கு $\frac{1}{683}$ வாட் எனில், அத்திசையில் ஒளிச்செறிவு ஒரு கேண்டிலா ஆகும்.

மோல்

0.012 கிலோகிராமில் உள்ள கார்பன்-12 அணுக்கள் போன்ற பல அடிப்படைத் துகள்களை உள்ளடக்கிய பொருளின் அளவு மோல் எனப்படும்.

1.3.6 ***SI அலகுகளையும் அவற்றின் குறியீடுகளையும் பயன்படுத்துதலில் பின்பற்ற வேண்டிய விதிகளும் மரபுகளும்***

1. அறிவியல் அறிஞர்களின் பெயர்களால் வழங்கப்படும் அலகுகளை எழுதும்போது, முதல் எழுத்து பெரிய எழுத்தாக (capital letter) இருக்கக் கூடாது. எடுத்துக்காட்டு : newton, henry, watt.

2. அறிவியல் அறிஞர்களின் பெயர்களால் வழங்கப்படும் அலகுகளின் குறியீடுகளை எழுதும்போது பெரிய எழுத்தால் எழுத வேண்டும். எடுத்துக்காட்டு : newton என்பது N, henry என்பது H, watt என்பது W.

3. குறிப்பிட்ட பெயரால் வழங்கப்படாத அலகுகளின் குறியீடுகளை சிறிய எழுத்தால் (small letter) எழுத வேண்டும். எடுத்துக்காட்டு : metre என்பது m மற்றும் kilogram என்பது kg.

4. அலகுகளின் குறியீடுகளுக்கு இறுதியிலோ அல்லது இடையிலோ நிறுத்தற்குறிகள் போன்ற எந்தக் குறிகளும் இடக்கூடாது. எடுத்துக்காட்டு : 50 m என்பதை 50 m. என குறிப்பிடக்கூடாது.

5. அலகுகளின் குறியீடுகளை பன்மையில் எழுதக்கூடாது. எடுத்துக்காட்டு : 10 kg என்பதை 10 kgs என எழுதக் கூடாது.

6. வெப்பநிலையை kelvin அலகால் குறிப்பிடும் போது டிகிரிக் குறி இடக்கூடாது. எடுத்துக்காட்டு : 273 K என்பதை 273^{o} K என எழுதக் கூடாது.

---

* தெவிட்டு நீராவி, தூய நீர் மற்றும் உருகும் பனிக்கட்டி ஆகிய மூன்றும் சமநிலையில் உள்ளபோது இருக்கும் வெப்பநிலை நீரின் முப்புள்ளி எனப்படும். நீரின் முப்பள்ளி வெப்பநிலை 273.16 K.

(செல்ஷியஸ் அளவில் குறிப்பிடும்போது டிகிரிக் குறி இட வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக 100 C என எழுதாமல் 100^o C என எழுத வேண்டும்)

7. அலகுகளின் குறியீடுகளை வகுக்கும்போது மட்டும் சரிவுக் கோட்டினைப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால், ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட சரிவுக் கோடுகளைப் பயன்படுத்தக் கூடாது. எடுத்துக்காட்டு : ms^{-1} அல்லது m/s, J/K mol அல்லது JK^{-1} mol^{-1} (J/K/mol என்பது கூடாது).

8. எண்ணிற்கும் (number) அலகின் குறியீட்டிற்கும் (symbol) இடையில் மற்றும் விசை, உந்தம் போன்றவற்றின் அலகுகள் போன்று இரு கூட்டு அலகுகளின் குறியீடுகளுக்கிடையில் இடைவெளி விட வேண்டும். எடுத்துக்காட்டு : 2.3m என்பது சரியல்ல; 2.3 m என்பதே சரியாகும், $kgms^{-2}$ என்றல்லாமல் kg m s^{-2} என எழுத வேண்டும்.

9. ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட குறியீடுகளை மட்டுமே பயன்படுத்த வேண்டும். எடுத்துக்காட்டு : ampere என்பதை amp என்றோ am என்றோ எழுதாமல் A என்றே எழுத வேண்டும். second என்பதை sec என்றில்லாமல் s என்றே குறிப்பிட வேண்டும்.

10. எந்தவொரு இயற்பியல் அளவின் எண் மதிப்பையும் அறிவியல் முறைப்படியே எழுத வேண்டும். எடுத்துக்காட்டு : பாதரசத்தின் அடர்த்தியை 13600 kg m^{-3} என்றில்லாமல் 1.36×10^4 kg m^{-3} எனக் குறிப்பிட வேண்டும்.

1.4 பெரிய மற்றும் சிறிய இயற்பியல் அளவுகளைக் குறிப்பிடுதல்

அடிப்படை அலகுகளை வரையறை செய்து விட்டால், அதே அடிப்படை அளவுகளை பெரிய மற்றும் சிறிய அலகுகளால் குறிப்பிடுவது எளிது. 10 அல்லது (1/10)-ன் பெருக்கல் மதிப்புடைய அடிப்படை அலகு, SI முறையுடன் தொடர்புடையதாக உள்ளது. எனவே, 1 km என்பது 1000 m மற்றும் 1 mm என்பது (1/1000) m ஆகும். படித்தர SI முன்னீடுகளும், அவற்றின் பொருளும் சுருக்கங்களும், அட்டவணை 1.3-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

மிகப் பெரிய தொலைவுகளை அளவிட கீழ்க்காணும் அலகுகள் பயன்படுகின்றன.

(i) ஒளி ஆண்டு

ஒளியானது, வெற்றிடத்தில் ஓர் ஆண்டில் செல்லக்கூடிய தொலைவு ஒளி ஆண்டு எனப்படும்.

கடந்த தொலைவு = ஒளியின் திசைவேகம் × 1 ஆண்டு

∴ 1 ஒளி ஆண்டு = 3×10^8 m s^{-1} $\times 1$ ஆண்டு (நொடிகளில்)

$= 3 \times 10^8 \times 365.25 \times 24 \times 60 \times 60 \quad = 9.467 \times 10^{15}$ m

(ii) வானியல் அலகு

புவியின் மையத்திலிருந்து சூரியனின் மையம் வரை உள்ள சராசரித் தொலைவு வானியல் அலகு எனப்படும்.

1 வானியல் அலகு (AU)

$$= 1.496 \times 10^{11}\ m$$

1.5 தொலைவினைக் கணக்கிடுதல்

புவியில் இருந்து நிலவு அல்லது கோள் ஒன்றின் தொலைவு போன்ற நீண்ட தொலைவுகளைக் கணக்கிட, சிறப்பு முறைகள் பின்பற்றப்படுகின்றன. ரேடியோ - எதிரொளிப்பு முறை, லேசர் துடிப்பு முறை மற்றும் இடமாறு தோற்ற முறை போன்றவை மிக நீண்ட தொலைவுகளைக் கணக்கிடப் பயன் படுகின்றன.

அட்டவணை 1.3 - முன்னீடுகள்

பத்தின் அடுக்கு	முன்னீடு	சுருக்கம்
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	pico	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	milli	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^{1}	deca	da
10^{2}	hecto	h
10^{3}	kilo	k
10^{6}	mega	M
10^{9}	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P

லேசர் துடிப்பு முறை

புவியில் இருந்து நிலவின் தொலைவினை லேசர் துடிப்புகள் கொண்டு கணக்கிடலாம். திறன்மிக்க பரப்பி (transmitter) மூலம், லேசர் துடிப்புகள் நிலவை நோக்கி அனுப்பப்படும். இந்தத் துடிப்புகள் நிலவுப்பரப்பால் எதிரொளிக்கப்பட்டு மீண்டு வரும். துடிப்புகளை அனுப்புவதற்கும் ஏற்பதற்கும் இடைப்பட்ட காலம் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்படும்.

t என்பது கால இடைவெளி, c என்பது லேசர் துடிப்புகளின் திசைவேகம் எனில், புவியிலிருந்து நிலவின் தொலைவு, $d = \frac{ct}{2}$

1.6 நிறையைக் கணக்கிடுதல்

ஆய்வுக் கூடத்தில் பொருள் ஒன்றின் நிறையைக் கணக்கிட இயற்பியல் தராசினைப் பயன்படுத்துவது ஒரு வழக்கமான முறையாகும். 1 mg அளவிற்கு நிறையைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட முடியும். தற்காலத்தில் நிறையை மிகத் துல்லியமாக

அளந்தறிய டிஜிடல் தராசுகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பொருளின் நிறையை உடனடியாக அறிவது டிஜிடல் தராசுகளின் சிறப்பம்சமாகும்.

1.7 காலத்தைக் கணக்கிடுதல்

எந்த ஒரு கால இடைவெளியையும் கணக்கிட நமக்கு கடிகாரம் தேவைப்படுகிறது. அணுவியல் கடிகாரங்கள், காலத்தின் கூடுதல் படித்தரத்தைத் தருகின்றன. கால இடைவெளியை அளந்தறியும் சில முறைகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

குவார்ட்சு கடிகாரங்கள்

படிகத்தின் அழுத்த - மின் விளைவு* என்ற தத்துவம், (piezo-electric) குவார்ட்சு கடிகாரங்களில் பயன்படுகிறது. இக்கடிகாரங்கள், ஒவ்வொரு 10^9 நொடிகளுக்கு ஒரு நொடி என்ற அளவில் துல்லியத்தன்மை பெற்றுள்ளன.

அணு கடிகாரங்கள்

அணுவினுள் நடைபெறும் அதிர்வுகளின் அடிப்படையில் இவ்வகைக் கடிகாரங்கள் செயல்படுகின்றன. இக்கடிகாரங்கள், 10^{13} நொடிகளில் ஒரு பங்கு என்ற அளவில் துல்லியத்தன்மை பெற்றுள்ளன.

1.8 அளவிடும் கருவிகளின் நுட்பமும் துல்லியத்தன்மையும்

அனைத்து அளவீடுகளும் கருவிகளைக் கொண்டே செய்யப்படுகின்றன. அளவிடுதலின் துல்லியத்தன்மை பல காரணிகளைச் சார்ந்துள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, மீட்டர் அளவுகோலைக் கொண்டு நீளத்தை அளக்கிறோம். மீட்டர் அளவுகோலில் $1\ mm$ இடைவெளியில் பிரிவுகள் உள்ளன. எனவே, அந்த மதிப்பிற்குத்தான் அளவுகள் சரியாக இருக்கும். கருவியில், குறிக்கப்பட்ட அளவுகளில் மிகச்சிறிய பிரிவின் மதிப்பில் பாதி அளவுக்கு அளவீடு இருக்கும்போது, அதனை நாம் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்வதில்லை. எனவே, பிழை ஏற்படுகிறது. இவ்வகைப் பிழை கருவிப்பிழை எனப்படும். மீட்டர் அளவுகோலில், இந்தப் பிழை $0.5\ mm$ ஆக இருக்கும்.

ஆய்வுகளின் காட்சிப் பதிவுகளில் இருந்து பெறப்படும் இயற்பியல் அளவுகள் எப்பொழுதுமே நிலையற்றதாக இருக்கின்றன. தவறே இல்லாத அளவீடுகளைச் செய்ய முடியாது. எண்ணின் நுட்பமானது, பெரும்பாலும் அதற்குப் பின் $\pm$ என்று குறியிடப்படும்.

** படிகத்தின் குறிப்பிட்ட அச்சு ஒன்றின் வழியே அழுத்தத்தை ஏற்படுத்தினால், செங்குத்து அச்சில் மின்னழுத்த வேறுபாடு உருவாகும்.*

எடுத்துக்காட்டாக, எஃகுத் தண்டின் நீளம் *56.47 ± 0.03 mm* எனில், அதன் உண்மையான நீளம் *56.44 mm*-க்குக் குறைவாகவோ அல்லது *56.50 mm*-க்கு அதிகமாகவோ இருக்க முடியாது. அளந்தறியப்பட்ட மதிப்பின் பிழையை பின்னத்தில் குறிப்பிட்டால், அதனை பின்னப்பிழை (fractional error) எனவும், விழுக்காடில் குறிப்பிட்டால், அதனை விழுக்காடுப்பிழை (percentage error) எனவும் கூறலாம். எடுத்துக்காட்டாக, *"470 Ω, 10 %"* எனக் குறிக்கப்பட்ட மின்தடையின் உண்மையான மின்தடை *470 Ω* - மதிப்பில் 10 %-க்கு மேல் வித்தியாசமாக இருக்காது. அதாவது, அதன் உண்மையான மதிப்பு *423 Ω*-க்கும் *517 Ω*-க்கும் இடையில் இருக்கும்.

*1.8.1 முக்கிய எண்ணுருக்கள் **(significant figures)***

அளவீடு செய்யும்போது, தகுந்த காரணத்தினால், தேவை என நினைத்து எண்ணிக்கை செய்த (counted) இலக்கங்களின் எண்ணிக்கை முக்கிய எண்ணுரு ஆகும். ஓர் எண்ணில் பொருளுள்ள இடமதிப்புகள் அந்த எண்ணின் முக்கிய எண்ணுரு என்றும் கூறலாம். அளவீடுகளில் வெவ்வேறு அலகுகளைத் தெரிந்தெடுப்பதால் முக்கிய எண்ணுரு மாறாது.

எடுத்துக்காட்டாக, *2.868 cm* என்ற எண் நான்கு முக்கிய எண்ணுருக்களைப் பெற்றுள்ளது. இந்த எண்ணினை *0.02868 m* அல்லது *28.68 mm* அல்லது *28680 μm* என்று எழுதும்போதும் நான்கு முக்கிய எண்ணுருக்களே உள்ளன.

மேற்காண் எடுத்துக்காட்டிலிருந்து கீழ்க்காண் விதிகள் வகுக்கப்பட்டுள்ளன.

(i) சுழியில்லாத (non-zeroes) எண்கள் அனைத்தும் முக்கிய எண்ணுருக்களாகக் கணக்கிடப்படும்.

(ii) சுழியற்ற இரு எண்களுக்கு இடைப்பட்ட சுழிகளும் முக்கிய எண்ணுருக்களாகக் கணக்கிடப்படும் (தசமப்புள்ளி ஒரு பொருட்டல்ல).

(iii) 1-ஐ விடக் குறைவாக மதிப்புள்ள எண்ணில், தசமப்புள்ளிக்கு வலப்பக்கம் உள்ள, ஆனால் சுழியல்லாத முதல் எண்ணிற்கு இடப்பக்கம் உள்ள சுழிகள் முக்கிய எண்ணுருக்கள் ஆகாது (*0.02868*-ல், அடிக்கோடிட்ட சுழிகள் முக்கிய எண்ணுருக்கள் அல்ல).

(iv) தசமப்புள்ளி இல்லாத எண்ணின் இறுதியில் உள்ள சுழிகள் முக்கிய எண்ணுருக்கள் ஆகாது (*23080 μm*-ல், இறுதியில் உள்ள சுழி முக்கிய எண்ணுரு அல்ல).

(v) தசமப்புள்ளி உள்ள எண்ணின் இறுதியில் உள்ள சுழிகள் முக்கிய எண்ணுருக்கள் ஆகும் (*0.07100*-ல், முக்கிய எண்ணுருக்கள் நான்கு).

எடுத்துக்காட்டுகள்

(i) 30700-ன் முக்கிய எண்ணுரு 3, (ii) 132.73-ன் முக்கிய எண்ணுரு 5

(iii) 0.00345-ன் முக்கிய எண்ணுரு 3, (iv) 40.00-ன் முக்கிய எண்ணுரு 4

1.8.2 முழுமைப்படுத்துதல் **(Rounding off)**

தற்காலத்தில், கணக்கீடு செய்ய கணக்கிடும் கருவிகள் (calculators) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவற்றின் முடிவுகள் பல இலக்கங்களைக் (figures) கொண்டதாக உள்ளன. கணக்கீட்டில் உள்ளடங்கும் தகவல்களின் (data) முக்கிய எண்ணுருவைவிட முடிவின் முக்கிய எண்ணுரு அதிகமாக இருக்கக் கூடாது. கணக்கீட்டின் முடிவில் நிலையில்லாத (uncertain) இலக்கங்கள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்டவை இருந்தால், அந்த எண்ணை முழுமைப்படுத்த வேண்டும். இந்த முழுமைப்படுத்துதல் நுட்பமானது, அறிவியலின் பயன்பாட்டுத் துறைகளில் பின்பற்றப்படுகிறது.

1.87<u>6</u> என்ற எண் மூன்று முக்கிய எண்ணுருக்களை உடையதாக *1.88* என முழுமைப்படுத்தப்படுகிறது. *1.872* என்ற எண் மூன்று முக்கிய எண்ணுருக்கள் உடையதாக *1.87* என முழுமைப்படுத்தப்படுகிறது. அடிக்கோடிட்ட முக்கிய எண்ணுரு இல்லாத இலக்கம் 5-ஐ விட அதிகமாக இருந்தால், அதற்கு முன்பு உள்ள இலக்கத்துடன் 1 கூட்டப்பட வேண்டும். அல்லது முக்கிய எண்ணுரு இல்லாத இலக்கம் 5-ஐ விடக் குறைவாக இருந்தால், அதற்கு முன்பு உள்ள இலக்கம் மாற்றப்படக் கூடாது.

2.84<u>5</u> என்ற எண்ணில் 5 என்ற இலக்கம் முக்கிய எண்ணுரு இல்லாதது. இதற்கு முன்பு உள்ள இலக்கம் இரட்டைப்படை இலக்கமாக இருப்பதால் அந்த முக்கிய எண்ணுரு இல்லாததை நீக்கிவிட்டு *2.84* என முழுமைப்படுத்த வேண்டும். *2.81<u>5</u>* என்ற எண்ணில் 5 என்ற இலக்கம் முக்கிய எண்ணுரு இல்லாதது. இதற்கு முன்பு உள்ள இலக்கம் ஒற்றைப்படை இலக்கமாக இருப்பதால், அதனுடன் 1 கூட்டப்பட்டு *2.82* என முழுமைப்படுத்த வேண்டும்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

(1) *17.35 kg, 25.8 kg* மற்றும் *9.423 kg* இவற்றைக் கூட்டுக.

கொடுக்கப்பட்டவற்றில் 25.8 என்பது மிகச்சிறிய துல்லியமான தெரிந்த அளவு.

$\therefore \quad 17.35 + 25.8 + 9.423 = 52.573$ kg

52.573 kg என்பதை மூன்று முக்கிய எண்ணுரு அளவில் 52.6 kg என எழுத வேண்டும்.

(2) $3.8 \times 0.125 = ?$

கொடுக்கப்பட்டவற்றுள் மிகச் சிறிய முக்கிய எண்ணுரு 2. எனவே, முடிவும் 2 முக்கிய எண்ணுருவில் இருக்க வேண்டும்.

$\therefore 3.8 \times 0.125 = 0.475 = 0.48$

1.8.3 அளவீடு செய்தலில் பிழைகள்

இயற்பியல் அளவு ஒன்றை அளவீடு செய்யும் போது ஏற்படும் நிலையற்ற தன்மை பிழை எனப்படும். இயற்பியல் அளவின் உண்மையான மதிப்பிற்கும் அளந்தறியப்பட்ட மதிப்பிற்கும் இடையே உள்ள வேறுபாடு பிழையாகும். பிழைகளைப் பல வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

(i) *மாறாத பிழைகள்*

தொடர்ச்சியான காட்சிப் பதிவுகளில், ஒரே மாதிரியான பிழை மீண்டும் மீண்டும் ஏற்பட்டால், அது மாறாத பிழை எனப்படும். அளவிடும் கருவியில் தவறாக அளவுகள் குறிக்கப்பட்டிருந்தால் மாறாத பிழை ஏற்படும். வெவ்வேறு முறைகளில் அளவீடுகள் செய்யப்பட்டு, சராசரி மதிப்பு கணக்கிடப்பட்டால், இப்பிழையைக் குறைக்கலாம். அந்தச் சராசரி மதிப்பு உண்மையான மதிப்பாகக் கருதப்படும்.

(ii) *முறையான பிழைகள்*

குறிப்பிட்ட மூலகாரணம் அல்லது அமைப்பினால் ஏற்படுவது முறையான பிழைகள் ஆகும். பிழையின் மூலகாரணத்தைக் கண்டறிவதால் இப்பிழையைக் குறைக்கலாம். கருவிப் பிழைகள், தனிப்பட்டவர் செய்யும் பிழைகள் போன்றவை ஒரு சில முறையான பிழைகள் ஆகும்.

(iii) *மொத்தப் பிழைகள்*

கீழ்க் குறிப்பிட்ட காரணங்களுள் ஏதேனும் ஒன்றினால் அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்டவற்றால் மொத்தப் பிழைகள் ஏற்படுகின்றன.

(1) கருவியை முறையாகப் பொருத்தாமை

(2) அளவுகளைப் பார்த்து எழுதும்போது தவறாகப் பதிவு செய்தல்

(3) முன்னெச்சரிக்கை நடவடிக்கைகளையும், பிழையின் மூலகாரணத்தையும் கருத்தில் கொள்ளாமை

(4) கணக்கீட்டில் தவறான மதிப்புகளைப் பயன்படுத்துதல்

சோதனையைச் செய்பவர் நேர்மையாகவும், கவனமாகவும் செயல்பட்டால் மொத்தப் பிழைகளைக் குறைக்கலாம்.

(iv) சமவாய்ப்புப் பிழைகள்

மீண்டும் மீண்டும் ஒரே அளவினை அளவீடு செய்யும்போது, ஒன்றுக்கொன்று சற்று மாறுபட்ட மதிப்புகள் கிடைப்பதுண்டு. இவ்வகைப் பிழைகள் முறைப்படி ஏற்படுவதில்லை. சமவாய்ப்பு முறையில் ஏற்படுகின்றன. எனவே, இவ்வகைப்

பிழைகள் சமவாய்ப்புப் பிழைகள் எனப்படுகின்றன. சோதனையை பலமுறை மீண்டும் மீண்டும் செய்து, அனைத்து மதிப்புகளுக்கும் கூட்டுச்சராசரியினை கணக்கிட்டால், சமவாய்ப்புப் பிழைகள் குறைக்கப்பட்டு, சரியான முடிவைப் பெறலாம்.

பொதுவாக, பிழை ஒன்றை விழுக்காடுப் பிழையாகக் குறிப்பிடுவது உண்டு. x என்ற அளவை அளவிடுதலில், துல்லியத்தன்மை Δx எனில், x-ல் விழுக்காடுப் பிழை, $\frac{\Delta x}{x} \times 100\%$ ஆகும்.

1.9 பரிமாணங்களின் பகுப்பாய்வு

இயற்பியல் அளவு ஒன்றின் பரிமாணங்கள் என்பது, அடிப் படை அளவுகளின் அடுக்கு களாகும்.

$$\text{திசைவேகம்} = \frac{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}{\text{காலம்}} = \frac{[L]}{[T]} = [M^oL^1T^{-1}]$$

இங்கு M, L மற்றும் T என்பன, முறையே நிறை, நீளம் மற்றும் காலம் என்ற அடிப்படை அளவுகளின் பரிமாணங்கள் ஆகும்.

அட்டவணை 1.4 அடிப்படை அளவுகளின் பரிமாணங்கள்

அடிப்படை அளவு	பரிமாணம்
நீளம்	L
நிறை	M
காலம்	T
வெப்பநிலை	K
மின்னோட்டம்	A
ஒளிச்செறிவு	cd
பொருளின் அளவு	mol

எனவே, திசைவேகம் என்பது நிறையில் சுழி பரிமாணமும், நீளத்தில் 1 பரிமாணமும், காலத்தில் −1 பரிமாணமும் பெற்றுள்ளது. எனவே, திசைவேகத்தின் பரிமாண வாய்ப்பாடு $[M^oL^1T^{-1}]$ அல்லது $[LT^{-1}]$. அடிப்படை அளவுகளின் பரிமாணங்கள் அட்டவணை 1.4-லும் மற்றும் சில வழி அளவுகளின் பரிமாணங்கள் அட்டவணை 1.5-லும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பரிமாணமுள்ள அளவுகள்

பரிமாணங்களைப் பெற்றுள்ள மாறிலிகள் பரிமாண மாறிலிகள் (constants) எனப்படும். பிளாங் மாறிலி, பொது ஈர்ப்பியல் மாறிலி போன்றவை பரிமாண மாறிலிகள் ஆகும்.

அட்டவணை 1.5 சில வழி அளவுகளின் பரிமாண வாய்ப்பாடு

இயற்பியல் அளவு	சமன்பாடு	பரிமாண வாய்ப்பாடு
பரப்பு	நீளம் × அகலம்	$[L^2]$
அடர்த்தி	நிறை / பருமன்	$[ML^{-3}]$
முடுக்கம்	திசைவேகம் / காலம்	$[LT^{-2}]$
உந்தம்	நிறை × திசைவேகம்	$[MLT^{-1}]$
விசை	நிறை × முடுக்கம்	$[MLT^{-2}]$
வேலை	விசை × தொலைவு	$[ML^2T^{-2}]$
திறன்	வேலை / காலம்	$[ML^2T^{-3}]$
ஆற்றல்	வேலை	$[ML^2T^{-2}]$
கணத்தாக்கு விசை	விசை × காலம்	$[MLT^{-1}]$
சுழற்சி ஆரம்	தொலைவு	$[L]$
அழுத்தம்	விசை / பரப்பு	$[ML^{-1}T^{-2}]$
பரப்பு இழுவிசை	விசை / நீளம்	$[MT^{-2}]$
அதிர்வெண்	1/காலம்	$[T^{-1}]$
இழுவிசை	விசை	$[MLT^{-2}]$
விசையின் திருப்புதிறன் (திருப்புவிசை)	விசை × தொலைவு	$[ML^2T^{-2}]$
கோணத் திசைவேகம்	$\frac{\text{கோண இடப்பெயர்ச்சி}}{\text{காலம்}}$	$[T^{-1}]$
தகைவு	விசை / பரப்பு	$[ML^{-1}T^{-2}]$
வெப்பம்	ஆற்றல்	$[ML^2T^{-2}]$
வெப்ப ஏற்புத்திறன்	$\frac{\text{வெப்பஆற்றல்}}{\text{வெப்பநிலை}}$	$[ML^2T^{-2}K^{-1}]$
மின்னூட்டம்	மின்னோட்டம் × காலம்	$[AT]$
பாரடே மாறிலி	அவகட்ரோ மாறிலி × மின்னூட்டம்	$[AT\ mol^{-1}]$
காந்தத் தூண்டல்	$\frac{\text{விசை}}{(\text{மின்னோட்டம்} \times \text{நீளம்})}$	$[MT^{-2}A^{-1}]$

பரிமாணங்களைப் பெற்றுள்ள, ஆனால் நிலையான மதிப்புகள் அற்ற இயற்பியல் அளவுகள் பரிமாண மாறிகள் (variables) எனப்படும். எடுத்துக்காட்டுகள் : திசைவேகம், விசை.

பரிமாணமற்ற அளவுகள்

சில குறிப்பிட்ட இயற்பியல் அளவுகளுக்கு பரிமாணங்கள் இல்லை. அவை பரிமாணமற்ற அளவுகள் எனப்படும். எடுத்துக்காட்டு : திரிபு, கோணம், ஒப்படர்த்தி. இவைகள் ஒரே பரிமாண வாய்ப்பாடு உள்ள இரு இயற்பியல் அளவுகளின் தகவாக இருப்பதால், பரிமாணங்கள் இல்லை.

பரிமாணங்களின் ஒருபடித்தான நெறிமுறை

சமன்பாடு ஒன்றின் இரு புறங்களிலும் உள்ள பல்வேறு அளவுகளின் பரிமாணங்கள் சமமாக இருப்பின், அந்தச் சமன்பாடு பரிமாண முறைப்படி சரி என்றாகும். இதனை பரிமாணங்களின் ஒருபடித்தான நெறிமுறை என்று கூறலாம். ஒரே மாதிரியான பரிமாணங்களை உடைய அளவுகளை மட்டும் கூட்ட முடியும். கிடைக்கக் கூடிய அளவும், அதே பரிமாணங்களைப் பெற்றிருக்கும் என்பதன் அடிப்படையில் இந்தத் தத்துவம் அமைந்துள்ளது.

$A + B = C$ என்ற சமன்பாடு சரியாக இருக்க வேண்டுமெனில், A, B மற்றும் C இவற்றின் பரிமாணங்கள் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

1.9.1 பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் பயன்கள்

(i) இயற்பியல் அளவு ஒன்றை, ஒரு அலகிடும் முறையிலிருந்து மற்றொரு அலகிடும் முறைக்கு மாற்ற இயலும்.

(ii) கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாடு, பரிமாணங்கள் அடிப்படையில் சரியென சோதித்து அறிய இயலும்.

(iii) சமன்பாடு ஒன்றில் உள்ள வெவ்வேறு இயற்பியல் அளவுகளுக்கு இடைப்பட்ட தொடர்பினை நிறுவ இயலும்.

(i) இயற்பியல் அளவு ஒன்றை ஒரு அலகிடும் முறையிலிருந்து மற்றொரு அலகிடும் முறைக்கு மாற்றுதல்.

cgs முறையில் G-ன் மதிப்பு 6.67×10^{-8} *dyne* $cm^2\ g^{-2}$. *SI* முறையில் அதன் மதிப்பினைக் கணக்கிடுக.

cgs முறையில்	**SI** முறையில்
$G_{cgs} = 6.67 \times 10^{-8}$	$G = ?$
$M_1 = 1g$	$M_2 = 1\ kg$
$L_1 = 1\ cm$	$L_2 = 1m$
$T_1 = 1s$	$T_2 = 1s$

ஈர்ப்பியல் மாறிலியின் பரிமாண வாய்ப்பாடு $\left[M^{-1}L^{3}T^{-2}\right]$.

cgs முறையில், G-ன் பரிமாண வாய்ப்பாடு $\left[M_1^{x}\ L_1^{y}\ T_1^{z}\right]$

SI முறையில், G-ன் பரிமாண வாய்ப்பாடு $\left[M_2^{x}\ L_2^{y}\ T_2^{z}\right]$

இங்கு $x = -1,\ y = 3,\ z = -2$ ஆகும்.

$$\therefore \quad G\left[M_2{}^{x}L_2{}^{y}T_2{}^{z}\right] = G_{cgs}\left[M_1{}^{x}L_1{}^{y}T_1{}^{z}\right]$$

அல்லது $G = G_{cgs}\left[\frac{M_1}{M_2}\right]^{x}\left[\frac{L_1}{L_2}\right]^{y}\left[\frac{T_1}{T_2}\right]^{z}$

$$G = 6.67 \times 10^{-8}\left[\frac{1\ g}{1\ kg}\right]^{-1}\left[\frac{1\ cm}{1\ m}\right]^{3}\left[\frac{1\ s}{1\ s}\right]^{-2}$$

$$= 6.67 \times 10^{-8}\left[\frac{1\ g}{1000\ g}\right]^{-1}\left[\frac{1\ cm}{100\ cm}\right]^{3}[1]^{-2}$$

$$= 6.67 \times 10^{-11}$$

$\therefore$ SI முறையில்,

$$G = 6.67 \times 10^{-11}\ N\ m^2\ kg^{-2}$$

(ii) கொடுக்கப்பட்டச் சமன்பாடு பரிமாண முறைப்படி சரியென சோதித்தல்

இயக்கத்தின் சமன்பாடு, $s = ut + (½)at^2$

இரு புறங்களிலும் பரிமாணங்களைப் பிரதியிட,

$[L] = [LT^{-1}]\ [T] + [LT^{-2}]\ [T^2]$

(½ என்ற மாறிலிக்கு பரிமாணம் இல்லை)

$[L] = [L] + [L]$

இரு புறங்களிலும் ஒரே மாதிரியான பரிமாணங்கள் இருப்பதால், சமன்பாடு பரிமாண முறையில் சரி என்பது மெய்ப்பிக்கப்படுகிறது.

(iii) சமன்பாடு ஒன்றில் உள்ள வெவ்வேறு இயற்பியல் அளவுகளுக்கு இடைப்பட்ட தொடர்பினை நிறுவுதல்

தனி ஊசலின் அலைவு காலத்திற்கு சமன்பாட்டினைப் பெறலாம்.

அலைவுக்காலம் T, (i) ஊசல் குண்டின் நிறை m, (ii) ஊசலின் நீளம் l மற்றும் (iii) ஊசல் தொங்கவிடப்பட்ட இடத்தில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் g, ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது.

அதாவது, $T \; \alpha \; m^x \, l^y \, g^z$ அல்லது $T = k \, m^x \, l^y \, g^z$ ... (1)

இங்கு, k என்பது பரிமாணமற்ற தகவு மாறிலி ஆகும். பரிமாணங்களை சமன்பாடு (1)-ல் பிரதியிட

$[T^1] = [M^x] \; [L^y] \; [LT^{-2}]^z$ அல்லது $[T^1] = [M^x \, L^{y+z} \, T^{-2z}]$

சமன்பாட்டின் இருபுறமும் உள்ள M, L மற்றும் T-ன் அடுக்குகளை ஒப்பிடுக.

$x = 0, \; y + z = 0$ மற்றும் $-2z = 1$ சமன்பாடுகளைத் தீர்க்கவும்.

$x = 0, \; y = ½ \; z = -½$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து, $T = k \, m^0 \, l^{½} \, g^{-½}$

$$T = k \left[\frac{l}{g}\right]^{1/2}$$

$$T = k \sqrt{\frac{l}{g}}$$

சோதனை மூலம் k-ன் மதிப்பு 2π என அறியப்பட்டால்,

$$\therefore \; T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

1.9.2 பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் வரம்புகள்

(i) இம்முறையில் பரிமாணமற்ற மாறிலிகளின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட இயலாது.

(ii) அடுக்குக் குறி மற்றும் திரிகோணமிதி போன்ற சார்புகள் அடங்கிய சமன்பாடுகளுக்கு இம்முறையைப் பயன்படுத்த இயலாது.

(iii) மூன்றிற்கும் மேற்பட்ட இயற்பியல் அளவுகள் உள்ளடங்கிய சமன்பாடுகளுக்கு இம்முறையைப் பயன்படுத்த இயலாது.

(iv) சமன்பாட்டினை, பரிமாண அளவில் மட்டுமே சரியா, இல்லையா என மெய்ப்பிக்க முடியும். உண்மையில், சமன்பாடு சரியா, இல்லையா எனக் கண்டறிய முடியாது. $s = ut + \frac{1}{4}at^2$ என்பது பரிமாண முறையில் சரி என்ற போதிலும் உண்மையான சமன்பாடு, $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ என்பதாகும்.

தீர்க்கப்பட்ட கணக்குகள்

1.1 புவியில் இருந்து வெகு தொலைவில் உள்ள கோள் ஒன்றிற்கு லேசர் துடிப்பு அனுப்பப்பட்டு, 7 நிமிடங்கள் கழித்து எதிரொளிக்கப்பட்ட துடிப்பு பெறப்படுகிறது. புவிக்கும் அந்தக் கோளிற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு $6.3 \times 10^{10}\ m$ எனில், லேசர் துடிப்பின் திசைவேகம் என்ன?

தகவல் : $d = 6.3 \times 10^{10}\ m$, $t = 7$ நிமிடங்கள் $= 7 \times 60 = 420\ s$

தீர்வு : d என்பது, கோளின் தொலைவு எனில், துடிப்பு சென்று வந்த மொத்தத் தொலைவு $2d$.

$$\therefore \text{ திசைவேகம் } = \frac{2d}{t} = \frac{2 \times 6.3 \times 10^{10}}{420} = 3 \times 10^{8}\ m\ s^{-1}$$

1.2 பொற்கொல்லர் ஒருவர், $5.42\ g$ நிறையுள்ள சிவப்பு நிறக்கல் ஒன்றை $1.2\ kg$ நிறையுள்ள பெட்டியினுள் வைக்கிறார். பெட்டி மற்றும் கல்லின் மொத்த நிறையை, முக்கிய எண்ணுரு தத்துவத்தில் கணக்கிடுக.

தகவல் : பெட்டியின் நிறை = $1.2\ kg$
சிவப்புக் கல்லின் நிறை = $5.42\ g = 5.42 \times 10^{-3}\ kg = 0.00542\ kg$

தீர்வு : மொத்த நிறை = பெட்டியின் நிறை + கல்லின் நிறை

$$= 1.2 + 0.00542 = 1.20542\ kg$$

முழுமைப்படுத்திய பிறகு, மொத்த நிறை = $1.2\ kg$

1.3 $\lambda = \frac{h}{mv}$ என்ற சமன்பாடு பரிமாண அளவில் சரி என மெய்ப்பிக்கவும்.
(λ - அலைநீளம், h - பிளாங் மாறிலி, m - நிறை, v - திசைவேகம்)

தீர்வு : பிளாங் மாறிலியின் (h) பரிமாணம் $[ML^2 T^{-1}]$

λ - வின் பரிமாணம் $[L]$

m - ன் பரிமாணம் $[M]$

v - ன் பரிமாணம் $[LT^{-1}]$

சமன்பாடு $\lambda = \frac{h}{mv}$ -ல் பரிமாணங்களைப் பிரதியிட

$$[L] = \frac{[ML^2T^{-1}]}{[M][LT^{-1}]}$$

$$[L] = [L]$$

சமன்பாட்டின் இரு புறங்களிலும் பரிமாணங்கள் சமமாக இருப்பதால், கொடுக்கப்பட்டச் சமன்பாடு பரிமாண அளவில் சரி.

1.4 *2.2* மற்றும் *0.225* இவற்றின் பெருக்கற்பலனை முக்கிய எண்ணுருவில் கணக்கிடுக.

தீர்வு : $2.2 \times 0.225 = 0.495$

கொடுக்கப்பட்ட தகவல்களில், மிகச் சிறிய முக்கிய எண்ணுரு 2. எனவே, விடையும் 2 முக்கிய எண்ணுருவில் இருக்க வேண்டும்.

$$\therefore\ 2.2 \times 0.225 = 0.50$$

1.5 பரிமாணங்கள் முறையில் *76 cm* பாதரச அழுத்தத்தை $N\ m^{-2}$ என மாற்றுக.

தீர்வு : *cgs* முறையில் 76 *cm* பாதரச அழுத்தம்

$$= 76 \times 13.6 \times 980\ dyne\ cm^{-2}$$

இதனை P_1 என்க. எனவே $P_1 = 76 \times 13.6 \times 980\ dyne\ cm^{-2}$

cgs முறையில் அழுத்தத்தின் பரிமாணங்கள் = $[M_1^a L_1^b T_1^c]$

அழுத்தத்தின் பரிமாணங்கள் = $[ML^{-1}T^{-2}]$. இதனை $[M_2^a L_2^b T_2^c]$–யுடன் ஒப்பிட.

நாம் பெறுவது $a = 1,\ b = -1$ மற்றும் $c = -2$.

$\therefore$ *SI* முறையில் அழுத்தம் $P_2 = P_1 \left[\frac{M_1}{M_2}\right]^a \left[\frac{L_1}{L_2}\right]^b \left[\frac{T_1}{T_2}\right]^c$

அதாவது, $P_2 = 76 \times 13.6 \times 980 \left[\frac{10^{-3}\ \text{kg}}{1\ \text{kg}}\right]^1 \left[\frac{10^{-2}\ \text{m}}{1\ \text{m}}\right]^{-1} \left[\frac{1\text{s}}{1\text{s}}\right]^{-2}$

$$= 76 \times 13.6 \times 980 \times 10^{-3} \times 10^{2}$$

$$= 101292.8\ N\ m^{-2}$$

$$P_2 = 1.01 \times 10^{5}\ N\ m^{-2}$$

தன் மதிப்பீடு

(இந்தத் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள வினாக்களும் கணக்குகளும் மாதிரிகளே. இவற்றைப்போன்று, பாடப் பொருளிலிருந்து எந்தவொரு வினாவையும் அல்லது கணக்கினையும் வடிவமைக்கலாம். மாணவ, மாணவியர் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியிலிருந்து மட்டுமல்லாமல், பாடப் பொருளிலிருந்தும் வடிவமைக்கப்படக்கூடிய வினாக்களுக்கும் கணக்குகளுக்கும் விடையளிக்க ஆயத்தம் செய்து கொள்ள வேண்டும்.)

1.1 கீழ்கண்டவற்றுள்ள எவை சமமானவை?

(a) 6400 km மற்றும் 6.4×10^8 cm

(b) 2×10^4 cm மற்றும் 2×10^6 mm

(c) 800 m மற்றும் 80×10^2 m

(d) 100 μm மற்றும் 1 mm

1.2 சிவப்பு நிற ஒளியின் அலைநீளம் 7000 Å. μm–ல் அதன் மதிப்பு

(a) 0.7 μm (b) 7 μm

(c) 70 μm (d) 0.07 μm

1.3 புழுதித் துகள் ஒன்றின் நிறை 1.6×10^{-10} kg எனில், 1.6 kg நிறையில் அத்துகள்களின் எண்ணிக்கை

(a) 10^{-10} (b) 10^{10}

(c) 10 (d) 10^{-1}

1.4 துகள் ஒன்றின்மீது செயல்படும் விசை, அதன் திசைவேகத்திற்கு நேர்த்தகவு எனில், தகவு மாறிலி அளவிடப்படும் அலகு

(a) kg s^{-1} (b) kg s

(c) kg m s^{-1} (d) kg m s^{-2}

1.5 0.0006032 -ல் முக்கிய எண்ணுரு

(a) 8 (b) 7

(c) 4 (d) 2

1.6 பொருளொன்றின் நீளம் 3.51 m என அளவிடப்பட்டுள்ளது. துல்லியத்தன்மை 0.01 m எனில், அளவீட்டின் விழுக்காடுப் பிழை

(a) 351 % (b) 1 %

(c) 0.28 % (d) 0.035 %

1.7 ஈர்ப்பியல் மாறிலியின் பரிமாண வாய்ப்பாடு

(a) $M^1L^3T^{-2}$ (b) $M^{-1}L^3T^{-2}$

(c) $M^{-1}L^{-3}T^{-2}$ (d) $M^1L^{-3}T^2$

1.8 பொருளொன்றின் திசைவேகம், $v = (x/t) + yt$. x-ன் பரிமாண வாய்ப்பாடு

(a) ML^oT^o (b) M^oLT^o

(c) M^oL^oT (d) MLT^o

1.9 பிளாங் மாறிலியின் பரிமாண வாய்ப்பாடு

(a) MLT (b) ML^3T^2

(c) ML^oT^4 (d) ML^2T^{-1}

1.10 ஒரே மாதிரியான பரிமாணங்களைப் பெற்றுள்ளவை

(a) விசையும் உந்தமும் (b) தகைவும் திரிபும்

(c) அடர்த்தியும் நீளடர்த்தியும் (d) வேலையும் நிலையாற்றலும்

1.11 தொழில் நுட்பத்தில் இயற்பியலின் பங்கு யாது?

1.12 இயற்கையின் அடிப்படை விசைகளைப் பற்றி குறிப்பெழுதுக.

1.13 அடிப்படை அலகுகளையும் வழி அலகுகளையும் வேறுபடுத்துக.

1.14 (i) நீளம், (ii) நிறை மற்றும் (iii) காலம் - இவற்றின் SI படித்தரங்களைக் கூறுக.

1.15 மற்ற அலகிடும் முறைகளைவிட, SI அலகுமுறை எவ்வகையில் மேம்பட்டது?

1.16 SI அலகுகளைக் குறிப்பிடுவதில், பின்பற்றப்பட வேண்டிய விதிகளும் மரபுகளும் யாவை?

1.17 இயற்பியல் அளவுகளை அளவிட வேண்டிய அவசியம் என்ன?

1.18 மீட்டர் அளவுகோலும் கம்பியும் உங்களிடம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. கம்பியின் விட்டத்தை எவ்வாறு கணக்கிடுவீர்கள்?

1.19 மிகச் சிறிய தொலைவுகளைக் குறிப்பிடப் பயன்படுத்தப்படும் அலகுகளைக் குறிப்பிடுக.

1.20 சமவாய்ப்புப் பிழைகள் என்பவை யாவை? அவற்றை எவ்வாறு குறைக்க முடியும்?

1.21 $\frac{1}{2} gt^2$ என்பது தொலைவின் பரிமாணங்களைப் பெற்றது என மெய்ப்பிக்கவும்.

1.22 பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் வரம்புகள் யாவை?

1.23 பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் பயன்கள் யாவை? ஒவ்வொன்றையும் ஒரு எடுத்துக்காட்டுடன் விளக்குக.

கணக்குகள்

1.24 1 மீட்டரில் எத்தனை வானியல் அலகுகள் உள்ளன?

1.25 எலக்ட்ரான் ஒன்றின் நிறை 9.11×10^{-31} kg எனில், எத்தனை எலக்ட்ரான்களின் மொத்த நிறை 1 kg-ஆக இருக்கும்?

1.26 நீர்மூழ்கிக் கப்பலில், சோனார் என்ற கருவி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அது அனுப்பும் சைகை எதிரியின் கப்பலினால் எதிரொலிக்கப்பட்டு மீண்டும் வந்து சேர 73.0 s ஆகிறது. நீரில் ஒலியின் திசைவேகம் 1450 m s^{-1} எனில், எதிரியின் கப்பல் உள்ள தொலைவினைக் கணக்கிடுக.

1.27 கீழ்க்காண்பவற்றின், முக்கிய எண்ணுருக்கள் யாவை?
(i) 600900 (ii) 5212.0 (iii) 6.320 (iv) 0.0631 (v) 2.64×10^{24}

1.28 $\pi = 3.14$. எனில், π^2 மதிப்பை முக்கிய எண்ணுருவிற்குச் சமமாகக் கணக்கிடுக.

1.29 5.74 g நிறையுடைய பொருள் ஒன்று 1.2 cm^3 கன அளவிற்குப் பரவியிருந்தால், அதன் அடர்த்தியை முக்கிய எண்ணுரு தத்துவத்தில் கணக்கிடுக.

1.30 செவ்வகத் தகடு ஒன்றின் நீளம், அகலம் மற்றும் தடிமன் முறையே 4.234 m, 1.005 m மற்றும் 2.01 cm ஆகும். தகட்டின் பரப்பினையும் கன அளவையும் முக்கிய எண்ணுருக்களுக்குச் சரியாகக் கணக்கிடவும்.

1.31 0.1 cm துல்லியத்தன்மை உடைய அளவுகோலைக் கொண்டு, தண்டு ஒன்றின் நீளம் 25.0 cm என அளந்தறியப்படுகிறது. நீளத்தில் விழுக்காடுப் பிழையைக் கணக்கிடுக.

1.32 நுண்புழைக் குழாயில் மேலேறும் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையின் சமன்பாட்டினை, பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் மூலம் பெறுக. பரப்பு இழுவிசையானது (T) (i) திரவத்தின் நிறை (m), (ii) திரவத்தின் அழுத்தம் (P), மற்றும் (iii) நுண்புழைக் குழாயின் ஆரம் (r) போன்றவற்றைச் சார்ந்தது.
(மாறிலி, $k = \frac{1}{2}$)

1.33 வட்டப்பாதையில் இயங்கும் பொருளொன்றின் மீது செயல்படும் விசை (F), (i) பொருளின் நிறை (m), (ii) திசைவேகம் (v) மற்றும் (iii) வட்டப் பாதையின் ஆரம் (r) போன்றவற்றைச் சார்ந்தது. விசையின் கோவையை பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் மூலம் பெறுக (மாறிலி, $k = 1$).

1.34 பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் மூலம், கீழ்க்காணும் சமன்பாடுகள் சரியா இல்லையா என்பதைச் சோதிக்கவும்.

(i) $F = \dfrac{mv^2}{r^2}$ (F-விசை, m-நிறை, v-திசைவேகம், r-ஆரம்)

(ii) $n = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{g}{l}}$ (n - அதிர்வெண், g - ஈர்ப்பின் முடுக்கம், l - நீளம்)

(iii) $\dfrac{1}{2}mv^2 = mgh^2$ (m - நிறை, v - திசைவேகம், g - ஈர்ப்பின் முடுக்கம் மற்றும் h - உயரம்)

1.35 பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் மூலம் கீழ்க்கண்டவற்றை மாற்றுக.

(i) $\dfrac{18}{5}$ kmph -ஐ m s^{-1} -ஆக (ii) $\dfrac{5}{18}$ m s^{-1} -ஐ kmph -ஆக

(iii) 13.6 g cm^{-3} -ஐ kg m^{-3} -ஆக

விடைகள்

1.1 (a)	**1.2** (a)	**1.3** (b)	**1.4** (a)
1.5 (c)	**1.6** (c)	**1.7** (b)	**1.8** (b)
1.9 (d)	**1.10** (d)		

1.24 6.68×10^{-12} AU

1.25 1.097×10^{30}

1.26 52.925 km

1.27 4, 5, 4, 3, 3

1.28 9.86

1.29 4.8 g cm^{-3}

1.30 4.255 m^2, 0.0855 m^3

1.31 0.4 %

1.32 $T = \dfrac{Pr}{2}$

1.33 $F = \dfrac{mv^2}{r}$

1.34 தவறு, சரி, தவறு

1.35 1 m s^{-1}, 1 kmph, 1.36×10^4 kg m^{-3}

2. இயக்கவியல்

இயற்பியலில் மிகவும் பழைமையான, அடிப்படைப் பிரிவு இயந்திரவியல் (mechanics) ஆகும். இப்பிரிவு, துகள்கள் அல்லது பொருள்களின் ஓய்வுநிலை அல்லது இயக்க நிலையைப் பற்றி கூறுகிறது. தற்கால ஆராய்ச்சி மற்றும் வளர்ச்சியினால் உருவாக்கப்பட்ட விண்வெளிக் கலனின் வடிவமைப்பு, அதன் தன்னிச்சையான கட்டுப்பாடு, இயந்திரத்தின் பயன்பாட்டுத் திறன், மின்னியந்திரங்கள் போன்றவை பெரும்பாலும் இயந்திரவியல் தத்துவங்கள் அடிப்படையிலேயே அமைந்துள்ளன. இயந்திரவியலில் நிலையியல் (statics) மற்றும் இயக்கவிசையியல் (dynamics) என்ற இரு பிரிவுகள் உள்ளன.

பொருள்களின் ஓய்வுநிலையைப் பற்றியது நிலையியல் ஆகும். இப்பிரிவில் விசைகள் சமநிலையில் செயல்பட வேண்டியுள்ளது.

விசைகளின் தாக்கத்தின் காரணமாக பொருள்கள் இயங்குவதைப் பற்றி கூறுவது இயக்கவிசையியல் ஆகும். திறன் என்ற பொருளுடைய ''டைனமிஸ்'' (dynamis) என்ற கிரேக்கச் சொல் டைனமிக்ஸ் (dynamics) எனப்படுகிறது. இயக்கவிசையியலில் இயக்கவியல் (kinematics) மற்றும் விசையியல் (kinetics) என்ற இரு உட்பிரிவுகள் உள்ளன.

இயக்கத்தை ஏற்படுத்தும் விசைகளைக் கருதாமல், இயக்கத்தின் இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம், முடுக்கம் மற்றும் காலம் போன்றவற்றிற்கிடையேயானத் தொடர்பைப் பற்றிக் கூறுவது இயக்கவியல் ஆகும்.

பொருள்களின் இயக்கத்திற்கும் செயல்படும் விசைகளுக்கும் இடையிலான தொடர்பைப் பற்றி கூறுவது விசையியல் ஆகும்.

இயக்கவியலில் பல அடிப்படை வரையறைகளைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

துகள் (particle)

பரிமாணங்கள் அற்ற, நிலைப்புள்ளி (position) உடைய சிறுபகுதி அல்லது பருப்பொருளின் அளவு துகள் எனப்படும்.

ஓய்வு நிலையும் இயக்கமும்

பொருளொன்று, காலத்தைச் சார்ந்து தனது நிலையை மாற்றிக் கொள்ளாமல் இருந்தால், அது ஓய்வு நிலையில் உள்ளது எனப்படும்.

காலத்தைச் சார்ந்து, பொருளின் நிலை மாறினால், அது இயக்கத்தில் உள்ளது எனப்படும். பொருளின் இயக்கத்தைப் பற்றி அறிய வேண்டுமானால், சுற்றுப்புறத்தைச் சார்ந்த பொருளின் நிலை மாற்றத்தை (x, y, z கூறுகள்) அறிய வேண்டும். காலத்தைச் சார்ந்து பொருள்களின் நிலையானது ஒன்று, இரண்டு அல்லது அனைத்துக் கூறுகளிலும் (coordinates) மாறினாலும், பொருள்களின் நிலை மாற்றம் அடைந்துள்ளது எனப்படும். இயக்கம் மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது.

(i) ஒரு பரிமாண இயக்கம்

காலத்தைச் சார்ந்து பொருளின் நிலை மாறுவதை ஒரு கூறினைக் (coordinate) கொண்டு குறிப்பிட்டால், அதனை ஒரு பரிமாண இயக்கம் எனலாம். எடுத்துக் காட்டு : நேர்கோட்டில் எறும்பு ஒன்று நகருவது, ஓடிக்கொண்டிருக்கும் தடகள வீரர்.

(ii) இரு பரிமாண இயக்கம்

இவ்வகையில், இயக்கம் இரு கூறுகளால் குறிப்பிடப்படும். எடுத்துக்காட்டு : ஒரு தளத்தில் இயங்கும் பொருள்.

(iii) முப்பரிமாண இயக்கம்

காலத்தைச் சார்ந்து, பொருளின் நிலையின் மூன்று கூறுகளும் மாறினால், அவ்வியக்கத்தை முப்பரிமாண இயக்கம் என்கிறோம். எடுத்துக்காட்டு : பறக்கும் பறவையின் இயக்கம், வானில் காற்றாடியின் இயக்கம், மூலக்கூறு ஒன்றின் இயக்கம்.

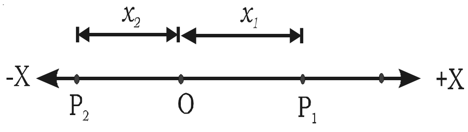
2.1 ஒரு பரிமாண இயக்கம் (நேர்க்கோட்டியக்கம்)

நேர்க்கோடு ஒன்றில் ஏற்படும் இயக்கம் நேர்க்கோட்டியக்கம் ஆகும். இவ்வியக்கத்தைப் பற்றி அறிய நிலை, இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம், முடுக்கம் போன்ற முக்கியமான பண்பளவுகள் தேவைப்படுகின்றன.

2.1.1 நிலை, இடப்பெயர்ச்சி மற்றும் துகள் கடந்த தொலைவு

காலத்தைச் சார்ந்து, துகள் ஒன்றின் நிலை, தொடர்ச்சியாக அறியப்பட்டால் மட்டுமே அதன் இயக்கத்தை அறிய முடியும்.

துகள் மேற்கொண்ட பாதையின் மொத்த நீளம், அது கடந்த தொலைவு ஆகும். துகளின் தொடக்க நிலைக்கும் இறுதி நிலைக்கும் இடைப்பட்ட குறுகிய தொலைவு இடப்பெயர்ச்சி எனப்படும். துகள் கடந்த தொலைவு என்பதும் இடப்பெயர்ச்சி என்பதும் வெவ்வேறானவை. எடுத்துக்காட்டாக படம் 2.1-ல் காட்டியவாறு, துகள் O என்ற புள்ளியிலிருந்து P_1



படம் 2.1 தொலைவும் இடப்பெயர்ச்சியும்

என்ற நிலைக்கும் பிறகு P_2 என்ற நிலைக்கும், நகர்ந்தால், P_2-ல் அதன் இடப்பெயர்ச்சி, தொடக்கப் புள்ளியிலிருந்து $-x_2$ ஆகும். ஆனால், துகள் கடந்த தொலைவு $x_1+x_1+x_2 = (2x_1+x_2)$ (படம் 2.1).

தொலைவு என்பது ஒரு ஸ்கேலர் அளவு; இடப்பெயர்ச்சி என்பது ஒரு வெக்டர் அளவு.

2.1.2 வேகமும் திசைவேகமும்

வேகம்

ஓரலகு காலத்தில் கடந்த தொலைவு வேகம் எனப்படும். இது ஒரு ஸ்கேலர் அளவு.

திசைவேகம்

இடப்பெயர்ச்சி மாறும் வீதம், திசைவேகம் எனப்படும். குறிப்பிட்ட திசையில், துகளின் வேகம் எனவும் திசைவேகத்தை வரையறுக்கலாம். திசைவேகம் ஒரு வெக்டர் அளவு. இதற்கு எண் மதிப்பும் திசையும் உண்டு.

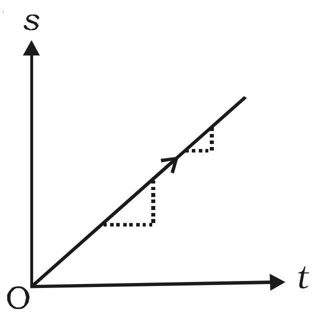
$$\text{திசைவேகம்} = \frac{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}{\text{காலம்}}$$

இதன் அலகு $\mathrm{m\ s^{-1}}$ மற்றும் பரிமாண வாய்ப்பாடு LT^{-1}.

சீரான திசைவேகம்

ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் துகள் இயங்கும்போது, கால இடைவெளிகள் மிகச் சிறயதாக இருப்பினும், சமகால இடைவெளிகளில் சம இடப்பெயர்ச்சிகளை மேற்கொண்டால், துகள் சீரான திசைவேகத்தில் இயங்குகிறது எனப்படும்.

இடப்பெயர்ச்சி-காலம் வரைபடத்தில், (படம் 2.2) அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் சாய்வு ஒரு மாறிலியாக உள்ளது. ஏனெனில், துகள் சீரான திசைவேகத்துடன் இயங்குகிறது.



படம் 2.2 சீரான திசைவேகம்

சீரற்ற அல்லது மாறும் திசைவேகம்

துகள் ஒன்று, சம கால இடைவெளிகளில் சமமற்ற இடப்பெயர்ச்சிகளை மேற்கொண்டால் அல்லது இயக்கத்தின் திசை மாற்றமடைந்தால் அல்லது இயக்க வீதம் மற்றும் திசை ஆகிய இரண்டுமே மாற்றமடைந்தால், துகளின் திசைவேகம் மாறுகிறது.

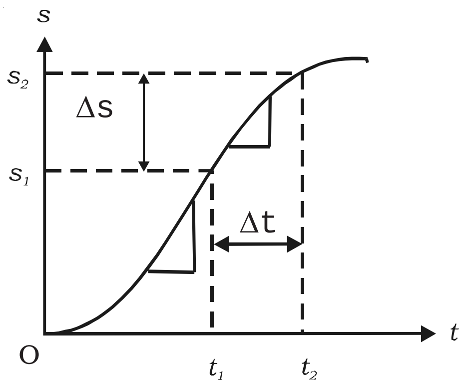
சராசரித் திசைவேகம்

t_1 காலத்தில் பொருளின் இடப் பெயர்ச்சி s_1 எனவும் t_2 காலத்தில் இடப் பெயர்ச்சி s_2 எனவும் கொள்க. (படம் 2.3) $(t_2 - t_1)$ என்ற கால இடைவெளியில்,

$$\text{சராசரித் திசைவேகம்} = \frac{\text{இடப்பெயர்ச்சி மாறுபாடு}}{\text{கால மாற்றம்}}$$

$$= \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

வளைகோட்டின் சாய்வு மாறும் என்பது, வரைபடத்திலிருந்து தெரிகிறது.



படம் 2.3 சராசரித் திசைவேகம்

உடனடித் திசைவேகம் (Instantaneous velocity)

துகள் கடக்கும் பாதையில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் அல்லது குறிப்பிட்ட கணத்தில் உள்ள திசைவேகம் உடனடித் திசைவேகம் ஆகும்.

$$v = \underset{\Delta t \to 0}{Lt} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

2.1.3 முடுக்கம் (acceleration)

காலத்தைச் சார்ந்து, திசைவேகத்தின் எண் மதிப்பு அல்லது திசை அல்லது இரண்டுமே மாற்றம் அடைந்தால், துகள், முடுக்கம் பெற்றுள்ளது எனப்படும்.

திசைவேகம் மாறும் வீதம், முடுக்கம் என வரையறுக்கப்படுகிறது. முடுக்கம் ஒரு வெக்டர் அளவு.

$$\text{முடுக்கம்} = \frac{\text{திசை வேக மாறுபாடு}}{\text{காலம்}}$$

u என்பது துகளின் தொடக்கத் திசைவேகம் மற்றும் t காலத்திற்குப் பிறகு அதன் இறுதித் திசைவேகம் v எனில், முடுக்கம்

$$a = \frac{v - u}{t}$$

கணநேர முடுக்கம், $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{ds}{dt}\right) = \frac{d^2s}{dt^2}$

இதன் அலகு $m\ s^{-2}$ மற்றும் பரிமாண வாய்ப்பாடு $L\ T^{-2}$.

சீரான முடுக்கம்

கால இடைவெளிகள் சிறியதாக இருப்பினும், சமகால இடைவெளிகளில் சம அளவு திசைவேக மாற்றங்கள் நிகழ்ந்தால், முடுக்கம் சீரானது எனப்படும்.

எதிர் முடுக்கம்

காலத்தைச் சார்ந்து, திசைவேகம் குறைந்தால் முடுக்கம் எதிர்க்குறி பெறும். எதிர்க்குறி உடைய முடுக்கம், எதிர்முடுக்கம் எனப்படும்.

சீரான இயக்கம்

துகள் ஒன்று மாறாத திசை வேகத்துடன் (சுழி முடுக்கம்) இயங்கினால், அது சீரான இயக்கத்தில் உள்ளது எனப்படும்.

2.1.4 வரைபடத்தில் காட்டப்படுதல்

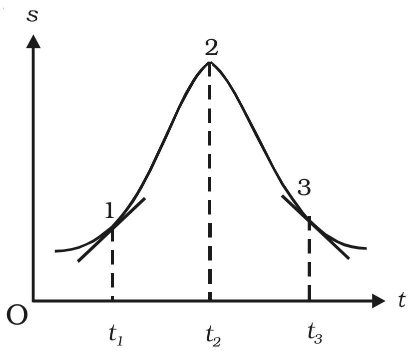
பல்வகை நிகழ்வுகளின் அடிப்படைத் தகவல்களை படங்கள் வாயிலாக அறிந்து கொள்ள வரைபடங்கள் பயன்படுகின்றன. இடப்பெயர்ச்சி அல்லது திசைவேகம் போன்ற ஒரு அளவு, காலம் போன்ற மற்றொரு அளவுடன் தொடர்பு கொண்டிருப்பதை வரைபடங்கள் உணர்த்துகின்றன.

துகள் ஒன்றின் இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம் மற்றும் முடுக்கம் ஆகியவை காலத்தைச் சார்ந்து மாறுவதை (i) இடப்பெயர்ச்சி - காலம் $(s–t)$ வரைபடம் (ii) திசைவேகம் - காலம் $(v - t)$ வரைபடம் மற்றும் (iii) முடுக்கம் - காலம் $(a - t)$ வரைபடம் காட்டுகிறது.

இடப்பெயர்ச்சி - காலம் வரைபடம்

காலத்தின் சார்பாக (function) துகளின் இடப்பெயர்ச்சியைக் காட்டுவது இடப்பெயர்ச்சி - காலம் வரைபடமாகும்.

$v = \dfrac{ds}{dt}$ ஆதலால், எந்த ஒரு கணத்திலும் துகளின் திசைவேகம், s–t வரைபடத்தின் சாய்விற்குச் (slope) சமம் ஆகும். படம் 2.4-ல் காட்டியவாறு t_1 காலத்தில் துகளானது நேர்க்குறித் திசைவேகத்தையும், t_2 காலத்தில், சுழித் திசைவேகத்தையும், t_3 காலத்தில் எதிர்க்குறித் திசைவேகத்தையும் பெற்றுள்ளது.



படம் 2.4 இடப்பெயர்ச்சி - காலம் வரைபடம்

திசைவேகம் - காலம் வரைபடம்

காலத்தின் சார்பாக, துகளின் திசைவேகத்தைக் காட்டுவது திசைவேகம் - காலம் வரைபடமாகும்.

$a = \dfrac{dv}{dt}$ ஆதலால், எந்த ஒரு கணத்திலும் துகளின் முடுக்கம், $v–t$ வரைபடத்தின்

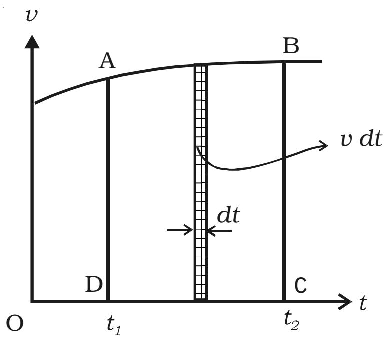
சாய்விற்குச் சமம் (படம் 2.5).

ஆனால், $v = \dfrac{ds}{dt}$

எனவே, $ds = v.dt$

t_1 மற்றும் t_2 காலங்களில் இடப் பெயர்ச்சிகள் s_1 மற்றும் s_2 எனில்,

$$\int_{s_1}^{s_2} ds = \int_{t_1}^{t_2} v\, dt$$



படம் 2.5 திசைவேகம் - காலம் வரைபடம்

$$s_2 - s_1 = \int_{t_1}^{t_2} v\ dt = \text{பரப்பு ABCD}$$

$v - t$ வரைபடத்தின் கீழ் உள்ள பரப்பு, குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிகளில் ஏற்படும் துகளின் இடப்பெயர்ச்சி மாற்றத்தைக் காட்டுகிறது அல்லது துகள் நகர்ந்த தொலைவைக் காட்டுகிறது.

முடுக்கம் - காலம் வரைபடம்

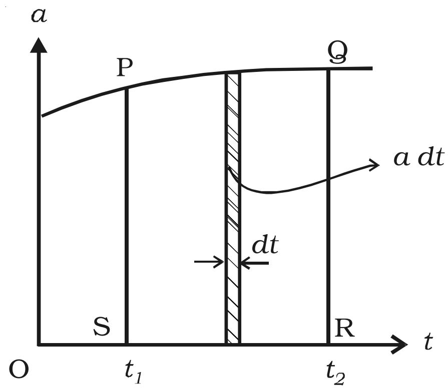
காலத்தின் சார்பாக முடுக்கத்தைக் காட்டுவது முடுக்கம் - காலம் வரைபடம் ஆகும். (படம் 2.6)

$a = \dfrac{dv}{dt}$ அல்லது $dv = a\ dt$

t_1 மற்றும் t_2 காலங்களில் திசைவேகங்கள் v_1 மற்றும் v_2 எனில்,

$$\int_{v_1}^{v_2} dv = \int_{t_1}^{t_2} a\ dt$$

$$v_2 - v_1 = \int_{t_1}^{t_2} a.dt = \text{பரப்பு PQRS}$$



படம் 2.6 முடுக்கம் - காலம் வரைபடம்

$a–t$ வரைபடத்தின் கீழ் உள்ள பரப்பு, குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிகளில் ஏற்படும், துகளின் திசைவேக மாற்றத்தைக் காட்டுகிறது. காலம் குறிக்கப்பட்ட அச்சுக்கு இணையாக வரைகோடு இருந்தால், துகள் மாறாத முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது எனப்படும்.

2.1.5 இயக்கச் சமன்பாடுகள்

சீராக முடுக்கப்பட்ட இயக்கத்தில் இடப்பெயர்ச்சி (s), காலம் (t), தொடக்கத் திசை வேகம் (u), இறுதித் திசைவேகம் (v) மற்றும் முடுக்கம் (a) ஆகியவற்றிற்கிடையேயான தொடர்பினை எளிய சமன்பாடுகளாகப் பெறலாம்.

(i) எந்தவொரு கணத்திலும், பொருளின் முடுக்கம் என்பது, காலத்தைச் சார்ந்த திசைவேகத்தின் முதல் வகைக்கெழு (derivative) ஆகும்.

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \text{அல்லது} \quad dv = a.dt$$

t காலத்தில் பொருளின் திசைவேகம் u–விலிருந்து v–க்கு மாறினால், மேற்காண் சமன்பாட்டின்படி

$$\int_u^v dv = \int_0^t a\ dt = a\int_0^t dt$$

$$[v]_u^v = a[t]_0^t$$

$$\therefore \quad v - u = at \quad \text{அல்லது} \quad v = u + at \qquad \ldots(1)$$

(ii) பொருளொன்றின் திசைவேகம், காலத்தைச் சார்ந்த இடப்பெயர்ச்சியின் முதல் வகைக்கெழு ஆகும்.

அதாவது, $v = \frac{ds}{dt}$ அல்லது $ds = v\,dt$

$v = u + at$ என்பதால்

$ds = (u + at)\ dt$

t காலத்தில் ஏற்படுத்திய தொலைவு s எனில், $\int_0^s ds = \int_0^t u\,dt + \int_0^t at\,dt$

அல்லது $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ ...(2)

(iii) ஒரு பொருளின் முடுக்கம் என்பது, காலத்தைச் சார்ந்த திசைவேகத்தின் முதல் வகைக்கெழு ஆகும்.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot v \left[\because\ v = \frac{ds}{dt}\right] \quad \text{அல்லது} \quad ds = \frac{1}{a}\ v\,dv$$

எனவே, $\int_0^s ds = \int_u^v \frac{v\ dv}{a}$

அதாவது $s = \frac{1}{a}\left[\frac{v^2}{2} - \frac{u^2}{2}\right]$

$$s = \frac{1}{2a}\left(v^2 - u^2\right)$$

அல்லது $2as = (v^2 - u^2)$

$\therefore\ v^2 = u^2 + 2\ as$ ...(3)

சமன்பாடுகள் (1), (2) மற்றும் (3) இயக்கச் சமன்பாடுகள் ஆகும்.

n–ஆவது நொடியில் கடந்த தொலைவின் சமன்பாடு

பொருள் ஒன்று u என்ற தொடக்கத் திசைவேகத்தில் இயங்கட்டும். அது a என்ற சீரான முடுக்கத்துடன் நேர்க்கோட்டில் இயங்குகிறது.

இயக்கத்தின் போது, n–ஆவது நொடியில் கடந்த தொலைவு,

S_n = (முதல் n நொடிகளில் கடந்த தொலைவு) - [(n–1) நொடிகளில் கடந்த தொலைவு]

n நொடிகளில் கடந்த தொலைவு, $D_n = un + \frac{1}{2}an^2$

(n–1) நொடிகளில் கடந்த தொலைவு $D_{(n-1)} = u(n-1) + \frac{1}{2}a(n-1)^2$

$\therefore$ n–ஆவது நொடியில் கடந்த தொலைவு $= D_n - D_{(n-1)}$

அதாவது, $s_n = \left(un + \frac{1}{2}an^2\right) - \left[u(n-1) + \frac{1}{2}a(n-1)^2\right]$

$s_n = u + a\left(n - \frac{1}{2}\right)$ அல்லது $s_n = u + \frac{1}{2}a(2n-1)$

சிறப்பு நேர்வுகள்

நேர்வு (i) : கீழ்நோக்கிய இயக்கத்திற்கு

கீழ்நோக்கி இயங்கும் துகளிற்கு $a = g$, ஏனெனில் துகளானது ஈர்ப்பின் முடுக்கத் திசைவழியே இயங்குகிறது.

நேர்வு (ii) : தடையின்றித் தானே கீழே விழும் பொருள்

தடையின்றித் தானே கீழே விழும் பொருளிற்கு $a = g$ மற்றும் $u = 0$, ஏனெனில் பொருள் ஓய்வு நிலையிலிருந்து புறப்படுகிறது.

நேர்வு (iii) : மேல்நோக்கிய இயக்கத்திற்கு

மேல்நோக்கி இயங்கும் துகளிற்கு $a = -g$, ஏனெனில், பொருள் ஈர்ப்பின் முடுக்கத் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் இயங்குகிறது.

2.2 ஸ்கேலர் மற்றும் வெக்டர் அளவுகள்

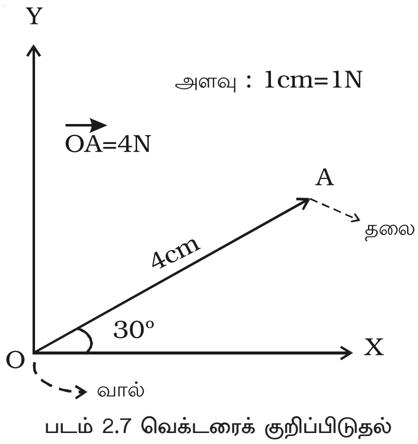
இயல் உலகத்தை விவரிக்கப் பயன்படும் பல்வகை அளவுகளை உள்ளடக்கியது இயக்கவியல் ஆகும். தொலைவு, இடப்பெயர்ச்சி, வேகம், திசைவேகம், முடுக்கம், நிறை, உந்தம், ஆற்றல், வேலை, திறன் போன்ற அளவுகள் சில எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இந்த அளவுகளை ஸ்கேலர், வெக்டர் என இரு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

ஸ்கேலர் அளவுகளுக்கு எண்மதிப்பு மட்டுமே உண்டு. அவை, எண் மற்றும் அலகினால் குறிப்பிடப்படும். எடுத்துக்காட்டுகள் : நீளம், நிறை, காலம், வேகம், வேலை, ஆற்றல், வெப்பநிலை. ஒரே வகை ஸ்கேலர்களைச் சாதாரண விதிகளைக் கொண்டு கூட்டவோ, கழிக்கவோ, பெருக்கவோ அல்லது வகுக்கவோ முடியும்.

வெக்டர் அளவுகளுக்கு எண் மதிப்பும் திசையும் உண்டு. எடுத்துக் காட்டுகள் : இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம், முடுக்கம், விசை, எடை, உந்தம்.

2.2.1 வெக்டர் ஒன்றைக் குறிப்பிடுதல்

வெக்டர் அளவுகள் பெரும்பாலும் அளவிடப்பட்ட வெக்டர் படங்களால் குறிப்பிடப்படுகின்றன. குறிப்பிட்ட திசையில் அளவிடப்பட்ட கோடும், இடப்படும் அம்புக்குறியும் வெக்டர் அளவைக் குறிப்பதாகும். அளவிடப்பட்ட வெக்டர் படம் ஒன்று படம் 2.7–ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 2.7 வெக்டரைக் குறிப்பிடுதல்

படத்தில் இருந்து தெளிவாவது என்ன வெனில்,

(i) அளவு கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

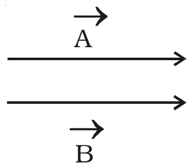
(ii) குறிப்பிட்ட திசையில் அம்புக்குறி இடப்பட்ட கோடு வரையப்பட்டுள்ளது.

(iii) வெக்டரின் எண் மதிப்பும் திசையும் தெளிவாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன. x–அச்சுக்கு 30^o கோணத்தில் (திசையில்) 4N எண் மதிப்பு

என இருக்கிறது. கோட்டின் நீளம் எண் மதிப்பையும், அம்புக்குறி திசையையும் காட்டுகின்றன. வெக்டரை தடித்த எழுத்து **(A)** அல்லது எழுத்தின் மேல் அம்புக்குறி இட்டுக் காட்டலாம் $\vec{A}$. அதனை வெக்டர் A என்றோ அல்லது A வெக்டர் என்றோ உச்சரிக்க வேண்டும். எண் மதிப்பை A என்று அல்லது $|\vec{A}|$ என்று குறிப்பிடலாம்.

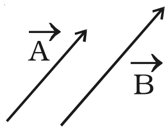
2.2.2 வெக்டர்களின் பல்வேறு வகைகள்

(i) சம வெக்டர்கள்



படம் 2.8
சமவெக்டர்கள்

தொடக்கப் புள்ளிகள் எங்கிருப்பினும், சம எண் மதிப்பும் ஒரே திசையும் பெற்றுள்ள இரு வெக்டர்கள் சம வெக்டர்கள் எனப்படும். படம் 2.8ல் வெக்டர் $\vec{A}$–யும் வெக்டர் $\vec{B}$–யும் சம எண்மதிப்பையும் திசையையும் பெற்றுள்ளன. எனவே $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$ வெக்டர்கள் சமவெக்டர்களாகும்.

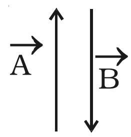


படம் 2.9 ஒத்த வெக்டர்கள்

(ii) ஒத்த வெக்டர்கள்

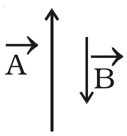
ஒரே திசையும், ஆனால் மாறுபட்ட எண் மதிப்புகள் உடைய இரு வெக்டர்கள் ஒத்த வெக்டர்கள் எனப்படும் (படம் 2.9).

(ii) எதிர்மறை வெக்டர்கள்



படம் 2.10 எதிர்மறை வெக்டர்கள்

சம எண் மதிப்புகள் உடைய, ஆனால் எதிர் எதிர் திசை கொண்ட இரு வெக்டர்கள் எதிர்மறை வெக்டர்கள் எனப்படும் (படம் 2.10).



படம் 2.11 மாறுபட்ட வெக்டர்கள்

(iv) மாறுபட்ட வெக்டர்கள்

மாறுபட்ட எண் மதிப்புகள் உடைய இரு வெக்டர்கள் எதிரெதிர் திசைகளில் செயல்பட்டால், அவை மாறுபட்ட வெக்டர்கள் எனப்படும். படம் 2.11ல் $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$ மாறுபட்ட வெக்டர்கள் ஆகும்.

(v) ஓரலகு வெக்டர்

ஓரலகு எண் மதிப்புடைய வெக்டர், ஓரலகு வெக்டர் எனப்படும். ஒரு வெக்டரை அதனுடைய எண் மதிப்பினால் வகுக்கக் கிடைப்பது ஓரலகு வெக்டர் ஆகும். $\vec{A}$-யின் திசையில் ஓரலகு வெக்டரை $\hat{A}$ என எழுதி, 'A cap' அல்லது 'A caret' அல்லது 'A hat' என்று உச்சரிக்க வேண்டும்.

$$\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|} \quad \text{அல்லது} \quad \vec{A} = \hat{A}\,|\vec{A}|$$

எனவே, ஒரு வெக்டரின் எண் மதிப்பு மற்றும் அதன் திசையில் ஓரலகு வெக்டரையும் பெருக்குவதன் மூலம் அந்த வெக்டரைப் பெறலாம்.

குத்து அலகு வெக்டர்கள்

கார்ட்டீசியன் கூறு அமைப்பில், x, y மற்றும் z அச்சுக்களின் நேர்க்குறி திசையில் உள்ள மூன்று அலகு வெக்டர்களை முறையே i, j மற்றும் k என குறிக்கலாம். அவைகள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான திசைகளில் செயல்படுவதால், குத்து அலகு வெக்டர்கள் எனப்படுகின்றன.

(vi) சுழிவெக்டர்

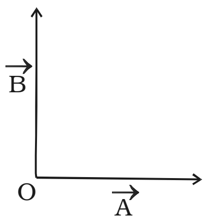
எண் மதிப்பு சுழி உடைய வெக்டர், சுழி வெக்டர் எனப்படும். அது $\vec{0}$ எனக் குறிப்பிடப்படும். இதனுடைய தொடக்கமும் முடிவும் ஒன்றே. சுழி வெக்டரின் திசையை அறிய முடியாது.

(vii) முறை வெக்டர் (Proper Vector)

சுழியற்ற வெக்டர்கள் அனைத்தும் முறை வெக்டர்கள் ஆகும்.

(viii) சக - தொடக்க வெக்டர்கள்

ஒரு புள்ளியிலிருந்து தொடங்கும் வெக்டர்களை சக - தொடக்க வெக்டர்கள் எனலாம். படம் 2.12–ல் $\vec{A}$–யும் $\vec{B}$–யும் O என்ற ஒரு ஆதிப்புள்ளியிலிருந்து தொடங்குவதால், அவை சக தொடக்க வெக்டர்கள் ஆகும்.



படம் 2.12 சக தொடக்க வெக்டர்கள்

(ix) ஒரு தள வெக்டர்கள்

ஒரு தளத்தில் அமைந்திருக்கும் வெக்டர்களை ஒரு தள வெக்டர்கள் எனலாம். இந்த வெக்டர்கள் உள்ள தளத்தினை வெக்டர்களின் தளம் எனலாம்.

2.2.3 வெக்டர்களின் கூடுதல்

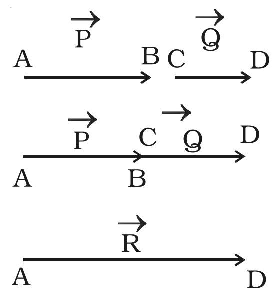
வெக்டர்களுக்கு எண் மதிப்பும் திசையும் இருப்பதால், அவற்றை சாதாரண இயற்கணித முறைப்படி கூட்ட முடியாது.

வெக்டர்களை வரைபடம் மூலமாகவோ வடிவயியல் மூலமாகவோ கூட்டலாம். தலையிலிருந்து வால் என்ற முறையைப் பயன்படுத்தி, வரைபடம் மூலமாக இரு வெக்டர்களைக் கூட்டுவதை அறிந்து கொள்ளலாம்.

ஒரே கோட்டின் வழியே செயல்படும் $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ வெக்டர்களைக் கருதுக. இவ்விரு வெக்டர்களின் கூடுதல் காண $\vec{Q}$-ன் வால்பகுதியை $\vec{P}$-ன் தலைப்பகுதியுடன் இணைக்கவும் (படம் 2.13).

$\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ – வின் தொகுபயன் $\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q}$. ஆகும். AD என்ற கோட்டின் நீளம் $\vec{R}$-ன் எண் மதிப்பைத் தருகிறது. $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$-ன் திசையிலேயே $\vec{R}$-ம் செயல் படுகிறது.

ஒன்றுக்கொன்று சாய்ந்துள்ள, இரு வெக்டர்களின் கூடுதல் காண, வெக்டர்களின் முக்கோண விதி அல்லது வெக்டர்களின் இணைகர விதியைப் பயன்படுத்தலாம்.



படம் 2.13 வெக்டர்களின் கூடுதல்

(i) வெக்டர்களின் முக்கோண விதி

எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் குறிக்கப்பட்ட இரு வெக்டர்கள், வரிசைப்படி ஒரு முக்கோணத்தின் அடுத்தடுத்தப் பக்கங்களாகக் கருதப்பட்டால், அவற்றின் தொகுபயன், எதிர்வரிசையில், அந்த முக்கோணத்தின் மூடிய பக்கமாக இருக்கும்.

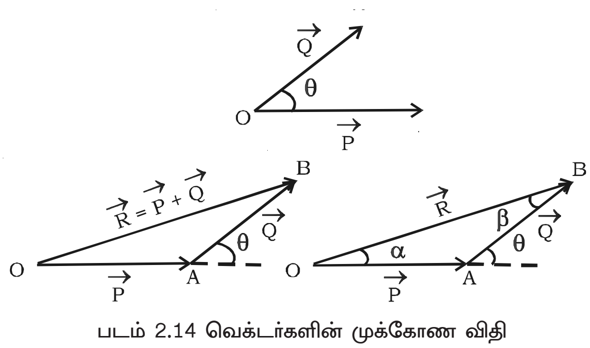
θ கோணத்தில் செயல்படும் $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ வெக்டர்களின் தொகுபயன் காண கீழ்க்காணும் முறை பின்பற்றப்படுகிறது.

படம் 2.14ல் காட்டியவாறு $\overrightarrow{OA} = \vec{P}$ என வரைக. $\vec{P}$-ன் தலைப்பகுதியில், தொடங்கி, $\overrightarrow{AB} = \vec{Q}$ ஐ வரைக. இறுதியில், $\vec{P}$-ன் வால் பகுதியில் தொடங்கி $\vec{Q}$-ன் தலைப்பகுதிக்கு $\overrightarrow{OB} = \vec{R}$ என்ற வெக்டரை வரைக. வெக்டர் $\overrightarrow{OB} = \vec{R}$ என்பது $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்பனவற்றின் தொகுபயன் ஆகும்.

ஆகவே, $\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q}$

$\vec{R}$-ன் நீளத்தை அளந்தும், $\vec{P}$ -க்கும் $\vec{R}$-க்கும் இடைப்பட்ட கோணத்தை அளந்தும் $\vec{P} + \vec{Q}$-ன் எண் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

முக்கோணங்களின் சைன் (sine) விதி மற்றும் கொசைன் (cosine) விதிகளைப் பயன்படுத்தி $\vec{R}$-ன் எண் மதிப்பையும், திசையையும் பெற முடியும். தொகுபயன் $\vec{R}$, $\vec{P}$-யுடன் ஏற்படுத்தும் கோணம் α எனக் கொள்க. $\vec{R}$-ன் எண் மதிப்பு



படம் 2.14 வெக்டர்களின் முக்கோண விதி

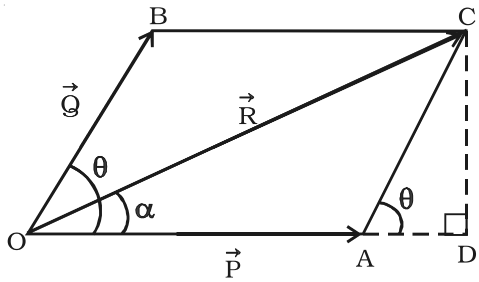
$$R^2 = P^2 + Q^2 - 2PQ\cos(180^o - \theta)$$

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ\cos\theta}$$

$\frac{P}{\sin \beta} = \frac{Q}{\sin \alpha} = \frac{R}{\sin (180^o - \theta)}$ என்பதில் இருந்து R–ன் திசையைப் பெற முடியும்.

(ii) வெக்டர்களின் இணைகர விதி

ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் இரு வெக்டர்களை, இணைகரம் ஒன்றின் அடுத்தடுத்த பக்கங்களாக எண் மதிப்பிலும், திசையிலும் குறிப்பிட்டால், அவற்றின் தொகுபயன் இரு வெக்டர்களின் பொதுவான வால்பகுதி வழியேச் செல்லும் மூலை விட்டத்தினால் எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் குறிப்பிடப்படும்.



படம் 2.15 வெக்டர்களின் இணைகர விதி

படம் 2.15-ல் காட்டியவாறு, ஒன்றுக்கொன்று θ கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ வெக்டர்களைக் கருதுவோம். $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்பன, OACB என்ற இணைகரத்தின் OA மற்றும் OB பக்கங்களாக, எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன. பொதுவான வால்பகுதி O-விலிருந்து செல்லும் மூலைவிட்டம் (OC), R-ன் எண் மதிப்பையும் திசையையும் தருகிறது.

C–யிலிருந்து நீட்டப்பட்ட OA–விற்கு CD என்ற செங்குத்து வரைக. $\vec{R}$ என்பது $\vec{P}$-யுடன் ஏற்படுத்தும் $\underline{|COD}$ – யை α எனக் கொள்க.

செங்கோண முக்கோணம் OCD – யிலிருந்து,

$$OC^2 = OD^2 + CD^2$$

$$= (OA + AD)^2 + CD^2$$

$$= OA^2 + AD^2 + 2.OA.AD + CD^2 \qquad ...(1)$$

படம் 2.15–லிருந்து, $\underline{|BOA} = \theta = \underline{|CAD}$

செங்கோண முக்கோணம் Δ CAD – ல்

$$AC^2 = AD^2 + CD^2 \qquad ...(2)$$

சமன்பாடு (2) ஐ (1) – ல் பிரதியிட

$$OC^2 = OA^2 + AC^2 + 2OA.AD \qquad ...(3)$$

ΔACD – யிலிருந்து,

$$CD = AC \sin \theta \quad \ldots(4)$$

$$AD = AC \cos \theta \quad \ldots(5)$$

சமன்பாடு (5)-ஐ (3)-ல் பிரதியிட

$$OC^2 = OA^2 + AC^2 + 2\ OA.AC \cos \theta$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில், $OC = R,\ OA = P,$

$OB = AC = Q$ எனப் பிரதியிட

$$R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \theta \text{ (அல்லது) } R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \theta} \quad \ldots(6)$$

தொகுபயனின் எண் மதிப்பு சமன்பாடு (6) -லிருந்து பெறப்படுகிறது.

$\Delta\ OCD$ -யிலிருந்து

$$\tan \alpha = \frac{CD}{OD} = \frac{CD}{OA + AD}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில், சமன்பாடு (4) மற்றும் சமன்பாடு (5) –ஐப் பிரதியிட,

$$\tan \alpha = \frac{AC \sin \theta}{OA + AC \cos \theta} = \frac{Q \sin \theta}{P + Q \cos \theta}$$

அல்லது $$\alpha = \tan^{-1}\left[\frac{Q \sin \theta}{P + Q \cos \theta}\right] \quad \ldots(7)$$

சமன்பாடு (7) தொகுபயனின் திசையாகும்.

சிறப்பு நேர்வுகள்

(i) இரு வெக்டர்கள் ஒரே திசையில் செயல்படுதல்

இந்த நிகழ்வில், இரு வெக்டர்களுக்கு இடைப்பட்ட கோணம் $\theta = 0^o$, $\cos 0^o = 1$, $\sin 0^o = 0$. சமன்பாடு (6)-ல் இருந்து,

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ} = (P + Q)$$

சமன்பாடு (7)-ல் இருந்து, $\alpha = \tan^{-1}\left[\frac{Q \sin 0^o}{P + Q \cos 0^o}\right]$

அதாவது, $\alpha = 0$

எனவே, தொகுபயன் வெக்டரின் திசையானது, தனித்தனியான வெக்டர்களின்

திசையிலேயும் எண் மதிப்பு, இரு வெக்டர்களின் எண் மதிப்புகளின் கூடுதலுக்குச் சமமாகவும் இருக்கும்.

(ii) இரு வெக்டர்கள் ஒன்றுக்கொன்று எதிரான திசையில் செயல்படுதல்

இந்த நிகழ்வில், இரு வெக்டர்களுக்கு இடைப்பட்ட கோணம், $\theta = 180°$, $\cos 180° = -1$, $\sin 180^o = 0$

சமன்பாடு (6)-ல் இருந்து, $R = \sqrt{P^2 + Q^2 - 2PQ} = (P - Q)$

சமன்பாடு (7)-ல் இருந்து, $\alpha = \tan^{-1}\left[\dfrac{0}{P-Q}\right] = \tan^{-1}(0) = 0$

எனவே, தொகுபயன் வெக்டரின் திசையானது, இரு வெக்டர்களில் பெரிய வெக்டரின் திசையிலும் எண் மதிப்பு, இரு வெக்டர்களின் எண் மதிப்புகளுக்கு இடையே உள்ள வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகவும் இருக்கும்.

(iii) இரு வெக்டர்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாகச் செயல்படுதல்

இந்த நிகழ்வில், $\theta = 90°$, $\cos 90^o = 0$, $\sin 90^o = 1$

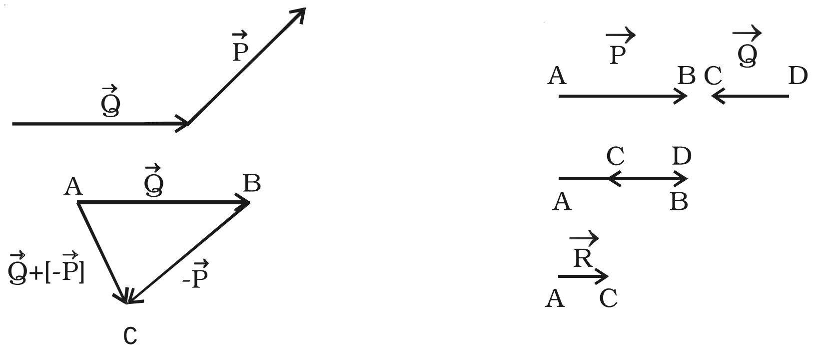
சமன்பாடு (6)-ல் இருந்து $R = \sqrt{P^2 + Q^2}$

சமன்பாடு (7)-ல் இருந்து $\alpha = \tan^{-1}\left(\dfrac{Q}{P}\right)$

எனவே, தொகுபயன் வெக்டர் $\vec{R}$-ஆனது $\vec{P}$ வெக்டருடன் α கோணத்தில் செயல்படுகிறது.

2.2.4 வெக்டர்களின் கழித்தல்

ஒரு வெக்டரை மற்றொன்றில் இருந்து கழித்தல் என்பது, ஒன்றை மற்றொன்றின் எதிர்க்குறியுடன் கூட்டுதலுக்குச் சமம் ஆகும். எடுத்துக்காட்டாக, $\vec{Q} - \vec{P} = \vec{Q} + (-\vec{P})$ எனவே, $\vec{P}$-யை $\vec{Q}$-ல் இருந்து கழிக்க, $\vec{Q}$–யுடன் $(-\vec{P})$ –யைக் கூட்ட வேண்டும். (படம் 2.16*a*). ஆகவே $\vec{P}$-யை$\vec{Q}$-இல் இருந்து கழிக்க, திருப்பப்பட்ட $\vec{P}$-யை $\vec{Q}$ -யுடன் கூட்ட வேண்டும். இவ்வாறு செய்ய, முதலில் $\overrightarrow{AB} = \vec{Q}$ என வரைக. பிறகு $\vec{Q}$-ன் தலைப்பகுதியில் தொடங்கி $\overrightarrow{BC} = (-\vec{P})$ என வரைந்து $(-\vec{P})$-யின் தலைப்பகுதியில் முடிக்கவும். $\vec{R}$-வெக்டர் என்பது $\vec{Q}$ மற்றும் $(-\vec{P})$-ன் கூடுதல் ஆகும். (அதாவது $\vec{Q} - \vec{P}$ என்ற வேறுபாடு)



(a) *(b)*

படம் 2.16 வெக்டர்களைக் கழித்தல்

ஒன்றுக்கொன்று எதிரிணையாக உள்ள இரு வெக்டர்களின் தொகுபயனைப் பெற, படம் 2.16b-ல் காட்டியவாறு, சிறிய வெக்டரைப் பெரிய வெக்டரிலிருந்து கழிக்க வேண்டும். தொகுபயன் வெக்டரின் திசையானது, பெரிய வெக்டரின் திசையில் இருக்கும்.

2.2.5 ஸ்கேலரை வெக்டரால் பெருக்குதல்

ஸ்கேலர் ஒன்றை வெக்டரால் பெருக்கினால் கிடைப்பது ஒரு வெக்டர் அளவாகும். இதன் திசை அந்த வெக்டரின் திசையாகும்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

(i) விசையின் தாக்கம் காரணமாக, m நிறையுள்ள துகள் ஒன்று $\vec{a}$ முடுக்கத்தைப் பெற்றால் $\vec{F} = m\vec{a}$.

(ii) உந்தம் = நிறை × திசைவேகம் $\vec{P} = m\vec{v}$.

2.2.6 வெக்டர்களின் பிரிப்பு மற்றும் செவ்வகக் கூறுகள்

சக–கூறு அச்சிற்கு (coordinate) ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் உள்ள வெக்டரை, அச்சுக்கள் வழியாக இரு கூறுகளாகப் பிரிக்க முடியும். வெக்டர் ஒன்றை, அதன் கூறுகளாகப் பகுக்கும் முறைக்கு வெக்டர் பிரிப்பு என்று பெயர்.

X - அச்சுடன், θ கோணத்தை ஏற்படுத்தும் வெக்டர் $\vec{R} = \overline{OA}$ என்பதைக் கருதுக. R வெக்டரை X - அச்சு மற்றும் Y -அச்சு வழியாக இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். A என்ற புள்ளியிலிருந்து X – அச்சுக்கும் Y – அச்சுக்கும் செங்குத்துக் கோடுகள் வரைக. இவ்விரு அச்சுக்களில் வெட்டும் புள்ளிகள், R_x மற்றும் R_y– ன் ஸ்கேலர் கூறுகளாகும்.

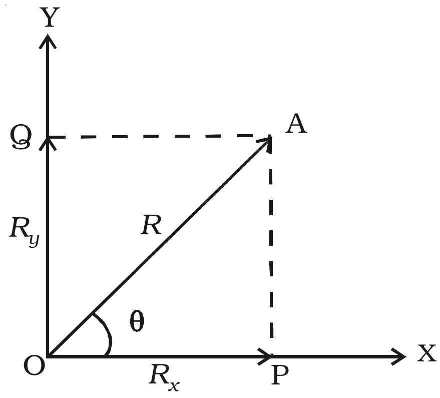
OP = R_x, என்ற எண் மதிப்பு $\vec{R}$-ன் x கூறாகும்.

OQ = R_y, என்ற எண் மதிப்பு $\vec{R}$ -ன் y கூறாகும்.

Δ OPA-யில்

$$\cos\theta = \frac{OP}{OA} = \frac{R_x}{R}$$ அல்லது

$$R_x = R\cos\theta$$



படம் 2.17 வெக்டரின் செவ்வகக் கூறுகள்

$$\sin\theta = \frac{OQ}{OA} = \frac{R_y}{R}$$ அல்லது $R_y = R\sin\theta$

மற்றும் $R^2 = R_x^2 + R_y^2$

மேலும் $\vec{R}$ -ஐ, $\vec{R} = R_x\vec{i} + R_y\vec{j}$ எனவும் குறிப்பிடலாம். (i மற்றும் j என்பன ஓரலகு வெக்டர்கள்)

R_x மற்றும் R_y-ஐக் கொண்டு θ-வை கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

$$\theta = \tan^{-1}\left[\frac{R_y}{R_x}\right]$$

2.2.7 இரு வெக்டர்களின் பெருக்கல்

சாதாரண இயற்கணித (algebra) விதிகளைக் கொண்டு, ஒரு வெக்டரை மற்றொரு வெக்டரால் பெருக்க முடியாது. வெக்டர்களைப் பெருக்குதலில் (i) ஸ்கேலர் பெருக்கல் மற்றும் (ii) வெக்டர் பெருக்கல் என இருவகைகள் உள்ளன.

(i) ஸ்கேலர் பெருக்கல் அல்லது புள்ளிப் பெருக்கல்

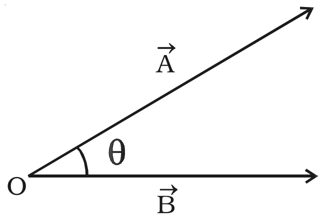
இரு வெக்டர்களின் பெருக்கற்பலன் ஒரு ஸ்கேலராக இருந்தால், அது ஸ்கேலர் பெருக்கல் எனப்படும். $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$ என்ற இரு வெக்டர்களின் ஸ்கேலர் பெருக்கலை $\vec{A}\cdot\vec{B}$ என எழுதி A புள்ளி B என உச்சரிக்க வேண்டும். எனவே, ஸ்கேலர் பெருக்கலை புள்ளிப்பெருக்கல் எனவும் கூறுகிறோம். இதனை அகப்பெருக்கல் (inner product) அல்லது நேரிடையான பெருக்கல் (direct product) என்றும் கூறலாம்.

இரு வெக்டர்களின் ஸ்கேலர் பெருக்கல் என்பது, இரு வெக்டர்களின் எண் மதிப்புகளின் பெருக்கற்பலனையும் அவ்விரு வெக்டர்களுக்கு இடைப்பட்ட கோணத்தின் கொசைன் மதிப்பையும் பெருக்கக் கிடைக்கும் ஸ்கேலராகும். $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$

இவற்றின் ஸ்கேலர் பெருக்கலைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}|\ |\vec{B}|\ \cos\theta$

இங்கு $|\vec{A}|$ மற்றும் $|\vec{B}|$ என்பன $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$–ன் எண் மதிப்புகளையும், θ என்பது $\vec{A}$ க்கும் $\vec{B}$க்கும் இடைப்பட்ட கோணத்தையும் குறிக்கின்றன (படம் 2.18).

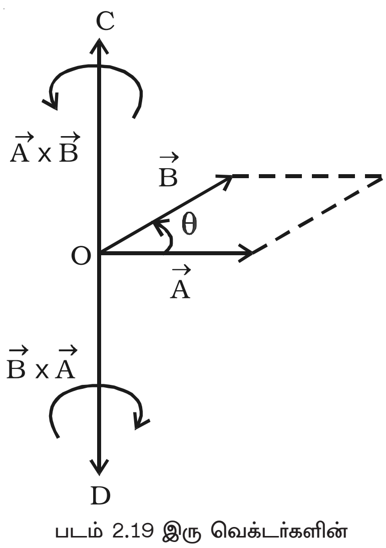


படம் 2.18 இரு வெக்டர்களின்

(ii) இரு வெக்டர்களின் வெக்டர் பெருக்கல் அல்லது குறுக்குப் பெருக்கல்

இருவெக்டர்களின் பெருக்கற்பலன் ஒரு வெக்டராக இருந்தால், அது வெக்டர் பெருக்கல் எனப்படும். $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$ என்ற இரு வெக்டர்களின் வெக்டர் பெருக்கலை $\vec{A} \times \vec{B}$ என எழுதி $\vec{A}$ குறுக்கு $\vec{B}$ என உச்சரிக்க வேண்டும். இதனைப் புறப்பெருக்கல் (outer product) எனவும் கூறலாம்.

இரு வெக்டர்களின் வெக்டர் பெருக்கல் என்பது, இரு வெக்டர்களின் எண் மதிப்புகளின் பெருக்கற்பலனையும் அவ்விரு வெக்டர்களுக்கு இடைப்பட்ட கோணத்தின் சைன் மதிப்பையும் பெருக்கக் கிடைக்கும் வெக்டர் ஆகும். இந்த வெக்டரின் திசை, அவ்விரு வெக்டர்கள் அமைந்த தளத்திற்கு செங்குத்தாக இருக்கும்.



படம் 2.19 இரு வெக்டர்களின் வெக்டர் பெருக்கல்

படம் 2.19-ல் காட்டியவாறு, $\vec{B}$-ஐ அடைய $\vec{A}$-வை θ என்ற சிறிய கோணத்திற்கு சுழற்ற வேண்டுமெனில், அவற்றின் குறுக்குப் பெருக்கல்

$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}|\ |\vec{B}|\ \sin\theta\ \hat{n} = \vec{C}$$

இங்கு $|\vec{A}|$ மற்றும் $|\vec{B}|$ என்பன $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$-ன் எண் மதிப்புகளைக் குறிக்கின்றன. $\vec{A}$ மற்றும் $\vec{B}$ அமைந்த தளத்திற்குச் செங்குத்தாக $\vec{C}$ அமைந்துள்ளது. திருகு ஒன்றை $\vec{A}$ லிருந்து $\vec{B}$ க்கு சுழற்றும்போது, அதன் முனை நகரும் திசையில் $\vec{C}$ ன் திசை இருக்கும். எனவே, $\vec{C}$, *OC* வழியே செயல்படும். இது போன்றே $\vec{B} \times \vec{A}$, OD வழியாகச் செயல்படும்.

2.3 எறிபொருளின் இயக்கம்

குறிப்பிட்ட தொடக்கத் திசைவேகத்துடன் வீசப்பட்டு, பிறகு ஈர்ப்பியல் விசையினால் இயங்க அனுமதிக்கப்படும் பொருள் எறியம் அல்லது எறிபொருள் எனப்படும். எறியம் செல்லும் பாதையைக் கவனித்தால், அப்பாதை, பரவளையத்தின் ஒருபகுதியாக இருப்பது தெரியவரும். இவ்வகை இயக்கம் எறிபொருளின் இயக்கம் எனப்படும்.

(i) ஆகாய விமானத்திலிருந்து வீசப்படும் குண்டு **(ii)** தடகள வீரர் வீசும் ஈட்டி அல்லது குண்டு **(iii)** கிரிக்கெட் மட்டையினால் அடிக்கப்படும் பந்தின் இயக்கம் போன்றவை எறியங்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகள் ஆகும்.

எறியங்களின் வெவ்வேறு வகைகள் படம் 2.20–ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. பொருள் ஒன்றை இரண்டு முறைகளில் எறியலாம்.

(i) குறிப்பிட்ட உயரத்திலிருந்து கிடைத்தளமாக எறிதல்

(ii) தரையுடன் ஒரு சாய்வுக் கோணத்தில் எறிதல்.

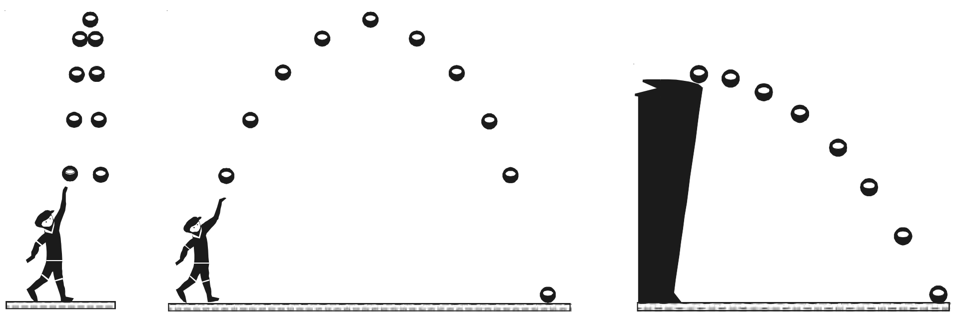
எறியங்கள், செங்குத்து இயக்கம் மற்றும் கிடைத்தள இயக்கங்களுக்கு உட்படுகின்றன. எறிபொருள் இயக்கத்தின் இரு கூறுகளாவன. **(i)** செங்குத்துக் கூறு மற்றும் **(ii)** கிடைத்தளக்கூறு. இயக்கத்தின் இந்த இரண்டு கூறுகளும் ஒன்றையொன்று சார்ந்திருக்காது.

கிடைத்திசையுடன் ஒரு கோணத்தில் எறியப்பட்ட பொருள் ஒன்று, சீரான கிடைத்தள திசைவேகத்தையும், ஈர்ப்பியல் விசை காரணமாக மாறக்கூடிய செங்குத்துத் திசைவேகத்தையும் பெற்றுள்ளது. எனவே, பொருளானது, ஒரே நேரத்தில் கிடை மற்றும் செங்குத்து இயக்கங்களைப் பெற்றுள்ளது. அவ்விரு இயக்கங்களின் வெக்டர் கூடுதல், தொகுபயன் இயக்கமாகவும், மேற்கொள்ளும் பாதை வளைவுப்பாதையாகவும் இருக்கும்.

மேற்கண்ட விளக்கங்கள் அட்டவணை 2.1ல் தொகுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 2.1 எறியத்தின் ஒன்றுடன் ஒன்று சாராத இயக்கங்கள்

இயக்கம்	**விசைகள்**	**திசைவேகம்**	**முடுக்கம்**
கிடக்கையாக	விசையேதும் செயல்படாது	மாறாதது	சுழி
செங்குத்தாக	ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தின் விசை கீழ்நோக்கி செயல்படும்.	மாறக் கூடியது ($\sim 10\ ms^{-1}$)	கீழ்நோக்கியது ($\sim 10\ ms^{-2}$)



படம் 2.20 எறியங்களின் வெவ்வேறு வகைகள்

காற்றின் தடை புறக்கணிக்கத்தக்கது மற்றும் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் மாறாதது என்று கருதியே எறிபொருளின் இயக்கம் விளக்கப்படுகிறது.

எறிகோணம்

பொருள் எறியப்படும் தொடக்கத் திசைக்கும், எறியப்பட்ட புள்ளியில் கிடைத்திசைக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் எறிகோணம் ஆகும்.

எறி திசைவேகம்

பொருள் ஒன்று எந்தத் திசைவேகத்தில் எறியப்படுகிறதோ, அது எறி திசைவேகம் ஆகும்.

வீச்சு

எறிபுள்ளிக்கும், எறியம் தரையில் மோதிய புள்ளிக்கும் இடையிலான கிடைத் தொலைவினை வீச்சு என்கிறோம்.

வீசுபாதை

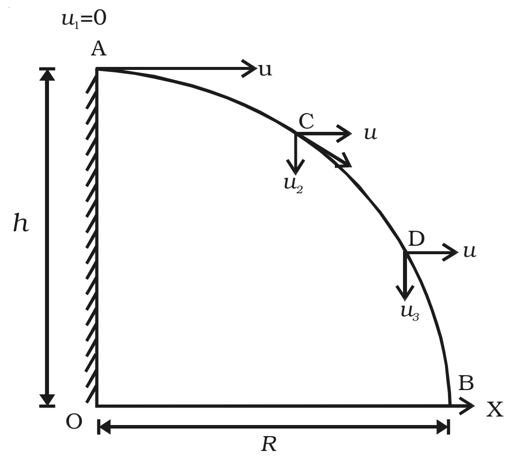
எறியம் மேற்கொள்ளும் பாதை வீசுபாதை எனப்படும்.

பறக்கும் காலம்

எறியம் எறியப்பட்ட கணத்திலிருந்து தரையில் மோதும் வரை ஆகும் மொத்த காலம் பறக்கும் காலம் எனப்படும்.

2.3.1 கிடையாக வீசப்பட்ட எறியத்தின் இயக்கம்

OX கிடைத்தளத்தில் h உயரத்தில், A என்ற புள்ளியிலிருந்து, u திசைவேகத் துடன் பொருளொன்று கிடையாக வீசப்படுகிறது எனக் கருதுவோம் (படம் 2.21). கீழ்க்காண் இயக்கங்களை, பொருள் ஒரே நேரத்தில் பெற்றிருக்கும்.



படம் 2.21 கோபுரத்தின் உச்சியிலிருந்து கிடையாக எறியப்பட்ட எறியம்

(i) OX என்ற கிடைத்திசையில், எறியப்பட்டபோது கொடுக்கப்பட்ட சீரான திசைவேகம்

(ii) ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தின் காரணமாக ஏற்படும் சீரற்ற செங்குத்துத் திசைவேகம்.

இரண்டு திசைவேகங்களும் ஒன்றையொன்று சார்ந்திராது. கிடைத் திசையில் முடுக்கம் செயல்படவில்லை ஆதலால், பொருளின் கிடைத் திசைவேகம் மாறாமல் இருக்கும். ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தின் காரணமாக, செங்குத்துத் திசையில் திசைவேகம் மாற்றமடைந்து கொண்டே இருக்கும்.

எறிபொருளின் (எறியத்தின்) பாதை

A–யிலிருந்து C–ஐ அடைய பொருள் எடுத்துக் கொண்ட காலம் = t

t காலத்தில் பொருள் கடந்து வந்த செங்குத்துத் தொலைவு = s = y

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$s = u_1 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad ...(1)$$

அறிந்த மதிப்புகளை சமன்பாடு (1)-ல் பிரதியிட,

$$y = (0)\ t + \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g t^2 \qquad ...(2)$$

A-ல், கிடைத்திசையில் தொடக்கத் திசைவேகம் = u

t காலத்தில், பொருள் கடந்த கிடைத்தொலைவு = x

$\therefore$ x = கிடைத்திசைவேகம் × காலம்

$$x = u\,t \quad \text{அல்லது} \quad t = \frac{x}{u} \qquad ...(3)$$

இதனை சமன்பாடு (2)–ல் பிரதியிட

$$y = \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{u}\right)^2 = \frac{1}{2}\, g\, \frac{x^2}{u^2} \qquad ...(4)$$

$y = kx^2$, இதில் $k = \frac{g}{2u^2}$ என்பது ஒரு மாறிலி.

மேற்கண்ட சமன்பாடு, பரவளையத்தின் சமன்பாடு ஆகும். எனவே, எறியம் மேற்கொள்ளும் பாதை ஒரு பரவளையமாகும்.

C-யில் தொகுபயன் திசைவேகம்

t கணத்தில், பொருள் C-யில் இருப்பதாகக் கொள்வோம்.

A– யில், தொடக்க செங்குத்துத் திசைவேகம் $(u_1) = 0$

C–யில், கிடைத் திசைவேகம் $(u_x) = u$

C–யில், செங்குத்துத் திசைவேகம் = u_2

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$u_2 = u_1 + g\,t$$

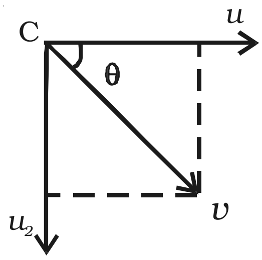
அறிந்த மதிப்புகள் அனைத்தும் பிரதியிடப்பட்டால்,

$$u_2 = 0 + g\,t \qquad ...(5)$$

C–யில் தொகுபயன் திசைவேகம்

$$v = \sqrt{u_x^2 + u_2^2} = \sqrt{u^2 + g^2t^2} \qquad ...(6)$$

v–ன் திசை, $\tan\theta = \frac{u_2}{u_x} = \frac{gt}{u}$ ...(7)



படம் 2.22 ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் தொகுபயன் திசைவேகம்

θ என்பது, x-அச்சுடன் v ஏற்படுத்தும் கோணம் ஆகும்.

பறக்கும் காலம் மற்றும் வீச்சு

$OB = R$ என்ற தொலைவு, எறியத்தின் வீச்சு ஆகும்.

∴ வீச்சு = கிடைத்திசைவேகம் × தரையை அடைய எடுத்துக் கொள்ளும் காலம்

$$R = u\,t_f \qquad ...(8)$$

இதில் t_f என்பது பறக்கும் காலம் ஆகும்.

A–யில், தொடக்கச் செங்குத்துத் திசைவேகம் $(u_1) = 0$

t_f காலத்தில் பொருள் கடந்த செங்குத்துத் தொலைவு, $S_y = h$

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து, $S_y = u_1 t_f + \frac{1}{2} g\, t_f^2$ ...(9)

அறிந்த மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (9)–ல் பிரதியிட,

$$h = (0)\ t_f + \frac{1}{2} g\ t_f^2$$

அல்லது $t_f = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ...(10)

இதனை, சமன்பாடு (8)-ல் பிரதியிட,

வீச்சு, $R = u\ \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ...(11)

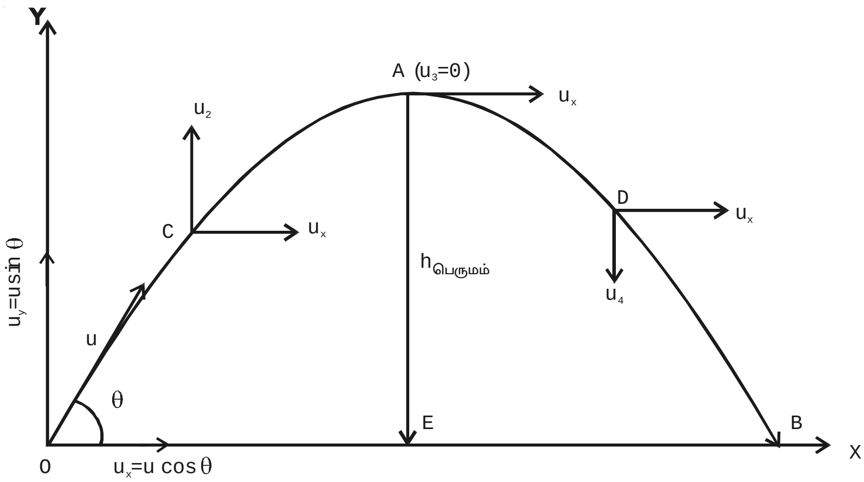
2.3.2 கிடைத்தளத்துடன் குறிப்பிட்ட கோணத்தில் எறியப்படும் எறியத்தின் இயக்கம் (மேல்நோக்கிச் சாய்வாக எறியப்படுதல்)

படம் 2.23-ல் காட்டியவாறு, புவிப்பரப்பில் O என்ற புள்ளியிலிருந்து, கிடைத்தளத்துடன் θ கோணத்தில் u என்ற தொடக்கத் திசைவேகத்துடன் பொருள் ஒன்று எறியப்படுவதாகக் கருதுக. u என்ற திசை வேகத்தை இரு கூறுகளாகப் பிரிக்க முடியும்.

(i) கிடைத் திசை OX–ல், $u_x = u \cos \theta$ மற்றும்

(ii) செங்குத்துத் திசை OY–ல், $u_y = u \sin \theta$

கிடைத்திசையில், முடுக்கம் செயல்படாததால், பொருளின் கிடைத்திசைவேகம் u_x மாறாதிருக்கும். ஈர்ப்பு முடுக்கத்தின் காரணமாக, பொருளின் திசைவேகச் செங்குத்துக்கூறு குறைகிறது. பொருள், பெரும உயரப் புள்ளியில் உள்ளபோது அந்தத்



படம் 2.23 கிடைத்தளத்துடன் ஒரு கோணத்தில் எறியப்படும் எறியத்தின் இயக்கம்

திசைவேகம் சுழியாகும். இதன்பிறகு, திசைவேகச் செங்குத்துக் கூறு u_y கீழ்நோக்கிச் செயல்பட்டு, பொருள் தரையில் B என்ற புள்ளியில் மோதும் வரை அதிகரிக்கிறது.

எறியத்தின் பாதை

எறியப்பட்ட கணத்திலிருந்து, எறியம் C என்ற புள்ளியை அடைய ஆகும் காலம் t_1 எனக் கருதுக.

t_1 காலத்தில் எறியம் கடந்த கிடைத் தொலைவு,

x = கிடைத்திசைவேகம் × காலம்

$x = u \cos\theta \times t_1$ அல்லது $t_1 = \dfrac{x}{u \cos\theta}$ ...(1)

t_1 காலத்தில், எறியம் கடந்த செங்குத்துத் தொலைவு $s = y$

O–ல், தொடக்கச் செங்குத்துத் திசைவேகம், $u_1 = u \sin\theta$. இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$s = u_1 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2$$

அறிந்த மதிப்புகளைப் பிரதியிட,

$$y = (u \sin\theta)\, t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 \quad \ldots (2)$$

சமன்பாடு (1)-ஐச் சமன்பாடு (2)-ல் பிரதியிட

$$y = (u \sin\theta)\left(\frac{x}{u \cos\theta}\right) - \frac{1}{2}(g)\left(\frac{x}{u \cos\theta}\right)^2$$

$$y = x \tan\theta - \frac{g x^2}{2u^2 \cos^2\theta} \quad \ldots (3)$$

மேற்காண் சமன்பாடு $y = Ax + Bx^2$ என்ற வடிவத்தில் உள்ளது. இது பரவளையத்தைக் குறிக்கிறது. எனவே, எறியத்தின் பாதை ஒரு பரவளையமாகும்.

t_1 கணத்தில் எறியத்தின் தொகுபயன் திசைவேகம்

C-யில், கிடைத்திசையில் திசைவேகம், $u_x = u \cos\theta$ மற்றும் செங்குத்துத் திசையில் திசைவேகம், $u_y = u_2$.

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து, $u_2 = u_1 - gt_1$

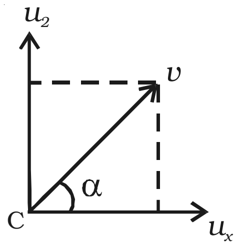
$u_2 = u \sin\theta - gt_1$

∴ C-யில் தொகுபயன் திசைவேகம்,

$$v = \sqrt{u_x^2 + u_2^2}$$

$$v = \sqrt{(u \cos\theta)^2 + (u \sin\theta - gt_1)^2}$$

$$= \sqrt{u^2 + g^2 t_1^2 - 2ut_1 g \sin\theta}$$



படம் 2.24 தொகுபயன் திசைவேகம்

v–ன் திசை,

$$\tan\alpha = \frac{u_2}{u_x} = \frac{u \sin\theta - gt_1}{u \cos\theta}$$

அல்லது $$\alpha = \tan^{-1}\left[\frac{u \sin\theta - gt_1}{u \cos\theta}\right]$$

α என்பது, கிடைக்கோட்டுடன், v ஏற்படுத்தும் கோணம் ஆகும்.

எறியம் அடைந்த பெரும உயரம்

எறியம் ஏற்படுத்திய பெருமச் செங்குத்து இடப்பெயர்ச்சியை, எறியம் அடைந்த பெரும உயரம் என்கிறோம். படம் 2.23–ல் EA என்பது பெரும உயரமாகும். அது $h_{\text{பெருமம்}}$ எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது.

O–ல், தொடக்கச் செங்குத்துத் திசைவேகம், $(u_1) = u \sin\theta$

A–ல், இறுதி செங்குத்துத் திசைவேகம், $(u_3) = 0$

பொருள் கடந்த செங்குத்துத் தொலைவு, $s_y = h_{\text{பெருமம்}}$.

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து $u_3^2 = u_1^2 - 2gs_y$

அறிந்த மதிப்புகளைப் பிரதியிட

$$(0)^2 = (u \sin\theta)^2 - 2gh_{\text{பெருமம்}}$$

$$2gh_{\text{பெருமம்}} = u^2 \sin^2\theta$$

அல்லது $$h_{\text{பெருமம்}} = \frac{u^2 \sin^2\theta}{2g} \qquad \ldots(4)$$

பெரும உயரத்தை அடைய எடுத்துக் கொண்ட காலம்

பெரும உயரத்தை அடைய, எறியம் எடுத்துக் கொண்ட காலம் t என்க.

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து, $u_3 = u_1 - g\ t$

அறிந்த மதிப்புகளைப் பிரதியிட, $0 = u \sin\theta - g t$

$$g\ t = u\ sin\,\theta$$

$$t = \frac{u\ \sin\theta}{g} \qquad \ldots(5)$$

பறக்கும் காலம்

பறக்கும் காலம் t_f என்க. அதாவது, எறியம் O-யிலிருந்து A வழியாக B–யை அடைய எடுத்துக்கொண்ட காலம். பொருள், தரைக்கு மீள வரும்போது, எறியம் ஏற்படுத்திய தொகுபயன் செங்குத்து இடப்பெயர்ச்சி,

$$s_y = h_{\text{பெருமம்}} - h_{\text{பெருமம்}} = 0$$

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$s_y = u_1\ t_f - \frac{1}{2} g\ t_f^2$$

அறிந்த மதிப்புகளைப் பிரதியிட,

$$0 = (\ u\ sin\ \theta\ )\ t_f - \frac{1}{2} g\ t_f^2$$

$$\frac{1}{2} g\ t_f^2 = (u\ sin\ \theta)\ t_f$$

(அல்லது) $t_f = \dfrac{2u \sin\ \theta}{g}$ ...(6)

சமன்பாடுகள் (5) மற்றும் (6)-ல் இருந்து

$$t_f = 2t \qquad \ldots(7)$$

அதாவது, பறக்கும் காலமானது, பெரும உயரத்தை அடைய எடுத்துக் கொண்ட காலத்தைப் போல் இரு மடங்காகும்.

கிடைத்தள வீச்சு

OB என்ற கிடைத் தொலைவு, எறியத்தின் வீச்சு ஆகும்.

கிடைத்தள வீச்சு = கிடைத்திசைவேகம் × பறக்கும் காலம்

அதாவது, $R = u \cos\theta \times t_f$

t_f மதிப்பைப் பிரதியிட,

$$R = (u \ \cos\theta) \ \frac{2u\sin\theta}{g}$$

$$R = \frac{u^2 \ (2 \ \sin\theta \ \cos\theta)}{g}$$

$$\therefore \ R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g} \qquad \ldots(8)$$

பெரும வீச்சு

எறிபொருளின் குறிப்பிட்ட திசை வேகத்திற்கு, கிடைத்தள வீச்சானது எறி கோணத்தை மட்டுமே சார்ந்து இருக்கும் என்பது சமன்பாடு (8)-ல் இருந்து அறியப்படுகிறது. $\sin 2\theta$ பெருமமாக இருந்தால் மட்டுமே, வீச்சு பெருமமாக முடியும்.

பெரும வீச்சு ஏற்பட, $\sin \ 2\theta = 1$

அதாவது, $\theta = 45°$

$\therefore$ எறிகோணம் $45°$- ஆக இருக்கும் போது, வீச்சு பெருமமாக இருக்கும்.

$$R_{\text{பெருமம்}} = \frac{u^2 \times 1}{g}$$

$$R_{\text{பெருமம்}} = \frac{u^2}{g} \qquad \ldots(9)$$

2.4 நியூட்டனின் இயக்க விதிகள்

இயக்கத்தை ஏற்படுத்தும் அடிப்படைக் காரணங்களைப் பற்றி தத்துவ அறிஞர்கள் பலர் ஆய்வு செய்துள்ளனர். சீரான திசைவேகத்தில் இயங்கும் பொருளொன்றை, அதே நிலையில் வைக்க, மாறாத புறவிசையை அதன் மீது தொடர்ச்சியாக செயல்படுத்த வேண்டும் என அரிஸ்டாடில் கருதினார். பிற்காலத்தில், கலிலியோ, இந்தக் கருத்தைப் புறக்கணித்துவிட்டு, சாய்தளத்தில் செய்த சோதனைகளின் அடிப்படையில் வேறொரு கருத்தை வெளியிட்டார். அவருடைய கருத்துப்படி, மாறாத

திசைவேகத்துடன் இயங்கும் பொருளை, அதே நிலையில் வைக்க, விசை ஏதும் தேவையில்லை. பொருளின் இயக்கத்தை நிறுத்த முயல்வது உராய்வு விசையாகும். பொருளிற்கும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பரப்புக்கும் இடையிலான உராய்வு விசை குறைவாக இருப்பின், பொருள் ஓய்வு நிலைக்கு வருமுன், அதிக தொலைவு கடக்கும். கலிலியோவிற்குப் பிறகு, நியூட்டன் அவருடைய கருத்துக்களை விரிவுபடுத்தி, இயக்கத்தை முறையாக ஆய்வு செய்தார்.

பொருளின் இயக்கம் தொடர்பான விதிகளை நியூட்டன் உருவாக்கினார். இயக்கத்திற்கான விதிகள் மூன்று உள்ளன. இம்மூன்று விதிகளையும் பகுப்பாய்வு செய்வதன் மூலம், விசையை வரையறை செய்ய முடியும். முதல் விதி, விசையின் அடிப்படை வரையறையைத் தருகிறது. இரண்டாவது விதி, விசையின் அளவிடப்பட்ட மற்றும் பரிமாண வரையறையைத் தருகிறது. மூன்றாவது விதி, விசையின் தன்மையைத் தருகிறது.

2.4.1 நியூட்டனின் முதல் இயக்க விதி

புறவிசையொன்று செயல்பட்டு மாற்றும் வரை எந்த ஒரு பொருளும் தனது ஓய்வு நிலையையோ அல்லது நேர்க்கோட்டில் அமைந்த சீரான இயக்க நிலையையோ மாற்றிக் கொள்ளாமல் தொடர்ந்து அதே நிலையில் இருக்கும்.

இவ்விதி, கலிலியோவின் நிலைம விதியின் அடிப்படையில் அமைந்துள்ளது. பருப்பொருளின் அடிப்படைப் பண்பான நிலைமம் பற்றியும், விசையின் வரையறை பற்றியும் நியூட்டனின் முதல்விதி விளக்குகிறது.

புறவிசைகள் இல்லாத நிலையில், பொருள் ஒன்று தன்னிச்சையாகத் தானே தனது நிலையை மாற்றிக் கொள்ள இயலாத பண்பு நிலைமம் எனப்படும். நிலைமம் மூன்று வகைப்படும். அவையாவன: **(i)** ஓய்வின் நிலைமம் **(ii)** இயக்கத்தின் நிலைமம் **(iii)** திசையின் நிலைமம்

(i) ஓய்வின் நிலைமம்

பொருளொன்று, தன்னிச்சையாகத் தானே தனது ஓய்வு நிலையை மாற்றிக்கொள்ள இயலாததை ஓய்வின் நிலைமம் என்கிறோம்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

(1) திடீரென இயங்க ஆரம்பிக்கும் பேருந்து ஒன்றில் நின்று கொண்டிருப்பவர், பின்னோக்கி விழுகிறார். ஏனெனில், தொடக்கத்தில் ஓய்வு நிலையில் இருந்தவர், பேருந்து நகர ஆரம்பித்த பிறகும், தொடர்ந்து ஓய்வு நிலையிலேயே இருக்கிறார்.

(2) மேசையின் மீதுள்ள புத்தகம் ஒன்று, புறக்காரணிகள் அதனை நகர்த்தாதவரை, தொடர்ந்து ஓய்வு நிலையிலேயே இருக்கும்.

(3) கம்பளம் (carpet) ஒன்றைக் கையில் பிடித்துக் கொண்டு குச்சியினால் அடிக்கும்போது, கம்பளம் நகர்ந்தாலும், அதில் உள்ள புழுதித் துகள்கள் கம்பளத்துடனேயே செல்லாமல் கம்பளத்தின் தொடக்க நிலைக்குச் செங்குத்தாக, அங்கேயே விழுகின்றன.

(ii) இயக்கத்தின் நிலைமம்

பொருளொன்று, தன்னிச்சையாகத் தானே தனது இயக்க நிலையை மாற்றிக் கொள்ள இயலாததை இயக்கத்தின் நிலைமம் என்கிறோம்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

(1) இயக்கத்தில் உள்ள பேருந்திலிருந்து கீழே இறங்குபவர், பேருந்து இயங்கும் திசையில் முன்னோக்கி விழுகிறார்.

(2) இயக்கத்தில் உள்ள காரில் (car) அமர்ந்திருப்பவர் கார் திடீரென நிற்கும்போது முன்னோக்கி விழுகிறார்.

(3) ஓட்டப் பந்தயத்தில் ஓடிக் கொண்டிருக்கும் தடகள வீரர், இறுதிக் கோட்டை அடைந்த பிறகும் தொடர்ந்து சிறிது தூரம் ஓடுகிறார்.

(iii) திசையின் நிலைமம்

பொருளொன்று, தன்னிச்சையாகத் தானே, தனது திசையை மாற்றிக் கொள்ள இயலாததை திசையின் நிலைமம் என்கிறோம்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

நேர்க்கோட்டில் நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் பேருந்து ஒன்று, வலதுபக்கமாகத் திரும்பும் போது, உள்ளிருக்கும் பயணிகள் இடதுபக்கம் நோக்கி தள்ளப்படுகிறார்கள். பேருந்து வலதுபக்கம் நோக்கி திரும்பிய பிறகும் கூட, பயணிகளைத் தொடர்ந்து நேர்க்கோட்டிலேயே இயங்க வைக்கும் நிலைமமே இதற்கு காரணமாகும்.

பொருளொன்று, தன்னிச்சையாகத் தானே தனது ஓய்வு நிலையை அல்லது சீரான நேர்க்கோட்டு இயக்க நிலையை அல்லது திசையை மாற்றிக் கொள்ள முடியாத பண்பு, நிலைமம் எனப்படும். பொருளின் நிலைமம், அதன் நிறைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

ஓய்வு நிலையை மாற்ற அல்லது சீரான இயக்க நிலையை மாற்ற, புறக்காரணி ஒன்று, அதாவது விசை தேவைப்படுகிறது என்பது முதல் விதியின் முடிவாகும்.

ஒரு பொருளின் ஓய்வு நிலையை அல்லது சீரான நேர்க்கோட்டு இயக்க நிலையை எது மாற்றுகின்றதோ அல்லது மாற்ற முயலுகின்றதோ அதுவே விசை என வரையறுக்கப்படுகிறது.

பொருளின் நிலையில் மாற்றத்தை ஏற்படுத்தும் தள்ளுதல் அல்லது இழுத்தல் என்பது விசையாகும். இரு பொருள்களுக்கிடையே இடைவினை (interaction) ஏற்படும்போது, ஒவ்வொன்றும் மற்றொன்றின் மீது விசையை செயல்படுத்துகிறது. இடைவினை மறைந்துவிட்டால், பொருள்களின மீது விசை இருக்காது. இடைவினை காரணமாகவே விசைகள் இருக்கின்றன.

பொருள்களுக்கிடையேயான விசைகளை இரு பெரும் பிரிவுகளாகக் கருதலாம். அவைகள், தொடுதல் விசைகள் (contact forces) மற்றும் தொலைவுச் செயல் காரணமாக ஏற்படும் தொடுதல் அல்லாத விசைகள் (non-contact forces) ஆகும்.

இடைவினை புரியும் இரு பொருள்கள் ஒன்றுடன் ஒன்று தொட்டுக் கொண்டிருப்பதால் ஏற்படும் விசைகள் தொடுதல் விசைகள் ஆகும்.

இழுவிசை, செங்குத்து விசை, காற்றுத் தடையினால் ஏற்படும் விசை, செயல்படுத்தப்படும் விசைகள் மற்றும் உராய்வு விசைகள் போன்றவை தொடுதல் விசைகளாகும்.

இடைவினை புரியும் இரு பொருள்கள், ஒன்றுடன் ஒன்று தொடாமலேயே, ஒன்றையொன்று இழுக்கக்கூடிய அல்லது தள்ளக்கூடிய விசைகள் தொடுதல் அல்லாத விசைகளாகும்.

ஈர்ப்பியல் விசை, மின் விசை மற்றும் காந்தவிசை போன்றவை தொடுதல் அல்லாத விசைகள் ஆகும்.

பொருளின் உந்தம்

இயங்கும் பொருளொன்றை நிறுத்தத் தேவைப்படும் விசை இரு காரணிகளைச் சார்ந்தது என சோதனைகள் மூலம் கண்டறியப்பட்டதாகும். அவையாவன : **(i)** பொருளின் நிறை மற்றும் **(ii)** பொருளின் திசைவேகம்.

இயக்கத்தில் உள்ள பொருளிற்கு உந்தம் உண்டு. நிறை மற்றும் திசைவேகத்தின் பெருக்கற்பலன், பொருளின் உந்தம் என வரையறுக்கப்படும். m என்பது பொருளின் நிறை மற்றும் $\vec{v}$ என்பது அதன் திசைவேகம் எனில், பொருளின் நேர்க்கோட்டு உந்தம், $\vec{p} = m\vec{v}$

எண் மதிப்பும் திசையும் உடைய உந்தம் ஒரு வெக்டர் அளவாகும். $kg\ m\ s^{-1}$ என்ற அலகினால் உந்தம் அளவிடப்படுகிறது. அதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு , MLT^{-1}.

பொருளின் மீது விசை செயல்பட்டால், அதன் திசைவேகம் மாறுகிறது. எனவே, உந்தமும் மாறுகிறது. சமநிறையுள்ள இரு பொருள்களில், மெதுவாக இயங்கும் பொருளின் உந்தம், வேகமாக இயங்கும் பொருளின் உந்தத்தைவிடக் குறைவு.

மாறுபட்ட நிறைகளும் திசைவேகங்களும் உடைய இரு பொருள்களின் உந்தம் சமம் எனில், $\vec{p}_1 = \vec{p}_2$

அதாவது, $m_1 \vec{v}_1 = m_2 \vec{v}_2$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\vec{v}_2}{\vec{v}_1}$$

சம உந்தங்கள் உடைய பொருள்களின் திசைவேகங்கள் அவற்றின் நிறைகளுக்கு எதிர்த்தகவிலிருக்கும்.

2.4.2 நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதி

இருக்கக்கூடிய விசைகள் சமப்படுத்தப்படும்போது, பொருள்களின் தன்மையைப் பற்றி நியூட்டனின் முதல் விதி விளக்குகிறது. மேலும், முதல் விதியிலிருந்து, இயக்கத்திலுள்ள பொருள் தனது திசையை மாற்றிக்கொள்ள அல்லது திசைவேகத்தின் எண் மதிப்பை மாற்றிக்கொள்ள அல்லது இரண்டையுமே மாற்றிக் கொள்ள விசை தேவை என்பது அறியப்படுகிறது. அதாவது, விசை என்ற இயற்பியல் அளவு, முடுக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்ற அல்லது ஏற்படுத்த முயலுகின்ற ஒரு காரணியாகும்.

இருக்கக்கூடிய விசைகள் சமப்படுத்தப் படாத போது, பொருள்களின் தன்மையைப் பற்றி நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்கவிதி விளக்குகிறது.

இவ்விதியின்படி, பொருளின் உந்தம் மாறுபடும் வீதம் அதன்மீது செயல்படுத்தப்படும் விசைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்; மற்றும், விசையின் திசையில் உந்தம் மாறுபாடு அடையும்.

$\vec{p}$ என்பது பொருளின் உந்தம், மற்றும் $\vec{F}$ என்பது அதன் மீது செயல்படும் விசை எனில், நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்கவிதிப்படி,

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

$\vec{F} = k \dfrac{d\vec{p}}{dt}$, k என்பது தகவு மாறிலி.

m நிறையுள்ள பொருளொன்று $\vec{v}$ திசை வேகத்தில் இயங்கினால், உந்தம், $\vec{p} = m\vec{v}$

எனவே, $\vec{F} = k \dfrac{d}{dt}(m\vec{v}) = k\, m \dfrac{d\vec{v}}{dt}$

தகவு மாறிலி k–ன் மதிப்பு 1 என இருக்குமாறு விசையின் அலகு தெரிவு செய்யப்படுகிறது.

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

இங்கு $a = \frac{d\vec{v}}{dt}$ என்பது, பொருளின் இயக்கத்தில் ஏற்பட்ட முடுக்கமாகும்.

பொருளின் நிறை மற்றும் பொருளின் மீது செயல்படும் விசையினால் ஏற்பட்ட முடுக்கத்தின் பெருக்கற்பலனாக, விசை அளவிடப்படுகிறது. விசையை அளவிடுவது பற்றி, இரண்டாம் இயக்கவிதி கூறுகிறது.

பொருளில் ஏற்பட்ட முடுக்கம், பொருளின் நிலைமத்தைச் சார்ந்தது. அதாவது, நிலைமம் அதிகமாக இருந்தால் முடுக்கம் குறைவாக ஏற்படும்.

ஓரலகு நிறையின் மீது செயல்பட்டு, ஓரலகு முடுக்கத்தை ஏற்படுத்தக் கூடிய விசையை ஒரு நியூட்டன் (newton) என வரையறை செய்யலாம்.

விசை ஒரு வெக்டர் அளவாகும். விசையின் அலகு $kg\ m\ s^{-2}$ அல்லது newton ஆகும். அதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு MLT^{-2}.

கணத்தாக்கு விசையும், விசையின் தாக்கமும்

(i) கணத்தாக்கு விசை (Impulsive force)

விசை செயல்படும் காலத்தில் பொருளின் நிலையில் ஏற்படும் மாற்றம் புறக்கணிக்கத்தக்கதாக இருக்கக்கூடிய, மிகக் குறைவான காலத்தில் பொருளின் மீது செயல்படும் மிக அதிகமான விசை, கணத்தாக்கு விசை எனப்படும். எடுத்துக் காட்டுகள் : சுத்தியலால் (hammer) அடித்தல், இரு பில்லியர்டு பந்துகளுக்கிடையே யான மோதல்.

(ii) விசையின் தாக்கம் (Impulse of a force)

t காலத்தில் செயல்படும் F என்ற மாறாத விசையின் தாக்கம் J என்பது, விசை மற்றும் காலத்தின் பெருக்கற்பலன் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

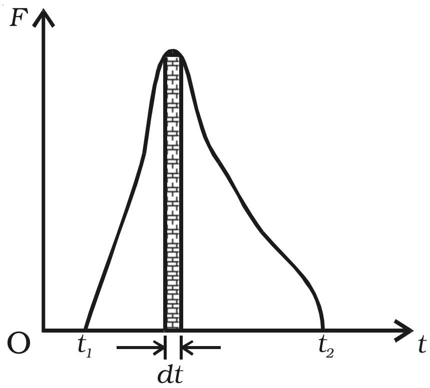
அதாவது, விசையின் தாக்கம் = விசை × காலம்

$$J = F \times t$$

t கால இடைவெளியில் F என்ற விசையின் தாக்கம்

$$J = \int_0^t F\ dt \qquad \ldots(1)$$

படம் 2.25-ல் காட்டியவாறு, விசை - காலம் வரைபடத்தின் கீழ் உள்ள பரப்பளவு விசையின் தாக்கம் என அறியலாம். மிகக் குறுகிய கால இடைவெளியில் செயல்படும் மாறும் விசையினால் ஏற்படும் தாக்கம்,



படம் 2.25 விசையின் தாக்கம்

$$J = F_{சராசரி} \times dt \quad ...(2)$$

விசையின் தாக்கம் ஒரு வெக்டர் அளவு. அதன் அலகு N s.

கணத்தாக்கம் மற்றும் உந்தத்தின் தத்துவம்

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதியின்படி, பொருளின் மீது செயல்படும் விசை = $m\ a$

இங்கு m என்பது பொருளின் நிறை, a என்பது முடுக்கம்.

விசையின் கணதாக்கம் = $F \times t = (m\ a)\ t$

u மற்றும் v என்பன, பொருளின் தொடக்க மற்றும் இறுதித் திசைவேகங்கள் எனில்,

$$a = \frac{(v-u)}{t}$$

∴ விசையின் கணத்தாக்கம்

$$= m \times \frac{(v-u)}{t} \times t = m(v-u) = mv - mu$$

கணத்தாக்கம் = பொருளின் இறுதி உந்தம் – பொருளின் தொடக்க உந்தம்

அதாவது, விசையின் கணத்தாக்கம் = உந்தத்தில் மாற்றம்.

கால இடைவெளி ஒன்றில், பொருளின் உந்தத்தில் ஏற்பட்ட மொத்த மாற்றம் அந்தக் கால இடைவெளியில் செயல்பட்ட விசையின் கணத்தாக்கத்திற்குச் சமம் ஆகும். இதுவே கணத்தாக்கம் மற்றும் உந்தத்தின் தத்துவமாகும்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

(i) கிரிக்கெட் விளையாட்டு வீரர் ஒருவர் பந்தினைப் பிடிக்கும்போது, பந்தின் திசையில் தனது கைகளைத் தாழ்த்துகிறார்.

மிகக் குறுகிய கால இடைவெளியில், உந்தத்தில் மாற்றத்தை ஏற்படுத்தினால், சராசரி விசை மிக அதிகமாக இருக்கும். சமன்பாட்டின்படி,

$$F = \frac{mv - mu}{t}$$

கால இடைவெளியை அதிகரிப்பதன் மூலம், சராசரி விசையைக் குறைக்கலாம். இதன் அடிப்படையில், கிரிக்கெட் வீரர் பந்தைப் பிடிக்கும்போது, பந்து கையைத் தொடும் காலத்தை அதிகரிக்க, கைகளைப் பந்தின் திசையில் தாழ்த்துகிறார். எனவே காயம் (hurt) ஏற்படாது.

(ii) மணல்தரையின் மீது விழுபவர்க்கு காயம் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால் சிமெண்ட் தரையில் விழுபவர்க்கு பலத்த காயம் ஏற்படுகிறது. இதே கருத்தின் அடிப்படையில், குத்துச் சண்டை மற்றும் உயரம் தாண்டுதல் போன்ற விளையாட்டுகள் நடைபெறும் மைதானம் மென்மையாக்கப்பட்டுள்ளது.

(iii) கரடுமுரடான சாலைகளில் செல்லும்போது, வாகனங்கள் குலுங்காமல் இருக்க அவற்றில் சுருள்வில்களும் (springs) அதிர்வுத் தாங்கிகளும் (shock absorbers) பொருத்தப்பட்டுள்ளன.

2.4.3 நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்க விதி

நாற்காலியின் மீது நாம் அமர்ந்திருக்கும்போது, நமது உடல், நாற்காலியின் மீது கீழ்நோக்கிய விசையையும், நாற்காலி, நமது உடலின் மீது மேல்நோக்கிய விசையையும் செயல்படுத்துகின்றன என்பது நமக்குத் தெரிந்ததே. இந்த இடைவினையின் விளைவாக, நாற்காலியின்மீது ஒரு விசை மற்றும் நம் உடலின் மீது மற்றொரு விசை என இரு விசைகள் ஏற்படுகின்றன. இவ்விரு விசைகளும் செயல் மற்றும் எதிர்ச் செயல் விசைகள் எனப்படுகின்றன. இந்தச் செயல் விசைகளுக்கு இடையேயான தொடர்பை நியூட்டனின் மூன்றாம் விதி விளக்குகிறது. ஒவ்வொரு செயலுக்கும் அதற்குச் சமமானதும் எதிர்த் திசையில் உள்ளதுமான ஒரு எதிர்ச்செயல் உண்டு என்பது இவ்விதியாகும்.

இவ்விதியின்படி, இரு பொருள்களில் முதல் பொருள் (body) இரண்டாவது பொருளின் மீது ஒரு குறிப்பிட்ட விசையை செயல்படுத்துகிறது. இரண்டாவது பொருள் முதல் பொருளின் மீது சமமான விசையை எதிர்த்திசையில் செயல்படுத்துகிறது. நியூட்டனின் மூன்றாம் விதியை செயல் – எதிர்ச்செயல் விதி என்றும் கூறலாம்.

1 மற்றும் 2 என்ற இரு பொருள்கள், ஒன்றின் மீது மற்றொன்று விசைகளைச் செயல்படுத்துகின்றன. பொருள் 2, பொருள் 1-ன் மீது செயல்படுத்திய விசை $\vec{F}_{12}$ மற்றும் பொருள் 1, பொருள் 2-ன் மீது செயல்படுத்திய விசை $\vec{F}_{21}$ என்றால், மூன்றாம் விதிப்படி

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

இவ்விரண்டு விசைகளில், விசை $\vec{F}_{12}$ செயல் என்றால் மற்றொரு விசை $\vec{F}_{21}$ எதிர்ச்செயல் ஆகும். அல்லது விசை $\vec{F}_{21}$ செயல் என்றால், விசை $\vec{F}_{12}$ எதிர்ச்செயல் ஆகும். எனவே, இரண்டில் காரணம் (cause) எது, விளைவு (effect) எது எனக் கூற முடியாது. செயலும் எதிர்ச்செயலும் ஒரே பொருளின் மீது செயல்படாது; வெவ்வேறு பொருள்களின்மீது செயல்படும். செயலும் எதிர்ச்செயலும் ஒன்றை ஒன்று நீக்காது (cancel); எப்பொழுதும் சோடியாகவே (pair) இருக்கும்.

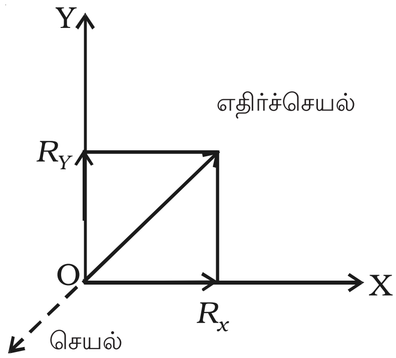
நமது அன்றாட வாழ்வில், மூன்றாம் இயக்க விதியின் விளைவை, பல செயல்பாடுகளில் உணரலாம். **(i)** துப்பாக்கியிலிருந்து, குறிப்பிட்ட விசையுடன் (செயல்)

குண்டு (bullet) வெளியேறினால், அவ்விசைக்குச் சமமான எதிர்விசை (எதிர்ச்செயல்) துப்பாக்கியின் மீது பின்னோக்கிச் செயல்படும்.

(ii) படகிலிருந்து ஒருவர், கரைக்குத் தாவும்போது, அவரிடமிருந்து படகு பின்புறம் நகர்ந்து விடும். படகின் மீது அவர் செயல்படுத்தும் விசை (செயல்), படகின் இயக்கத்திற்குக் காரணமாகவும், படகு அவர் மீது செயல்படுத்தும் எதிர் விசை (எதிர்ச்செயல்), கரையை நோக்கிய அவரின் இயக்கத்திற்குக் காரணமாகவும் இருக்கின்றன.

(iii) நீந்துபவர், குறிப்பிட்ட விசையுடன் (செயல்) நீரை பின்புறம் தள்ளுகிறார். அதற்குச் சமமான எதிர்விசையை (எதிர்ச்செயல்) நீந்துபவர் மீது நீர் செயல்படுத்தி முன்புறம் தள்ளுகிறது.

(iv) எதிர்ச்செயல் விசை இல்லையெனில், நம்மால் நடக்க முடியாது. நடக்கும்போது, நம் கால் பாதத்தை தரையில் அழுத்துவதன் மூலம் விசையைச் செயல்படுத்துகிறோம். இதற்குச் சமமான எதிர்விசையை, தரை நம் கால்பாதத்தின் மீது செயல்படுத்துகிறது. இந்த எதிர்விசை புவிப்பரப்பிற்குச் சாய்வாக உள்ளது. எதிர்விசையின் செங்குத்துக்கூறு, நமது எடையை சமப்படுத்துகிறது; கிடைத்தளக்கூறு, நாம் முன்னோக்கி நடக்க உதவுகிறது.



படம் 2.25a செயல் எதிர்ச் செயல்

(v) இறக்கைகளின் உதவியால் பறவை பறக்கின்றது. பறவையின் இறக்கைகள், காற்றைக் கீழ்நோக்கித் தள்ளுகின்றன. (செயல்) காற்று, பறவையை மேல்நோக்கித் தள்ளுகிறது (எதிர்ச்செயல்)

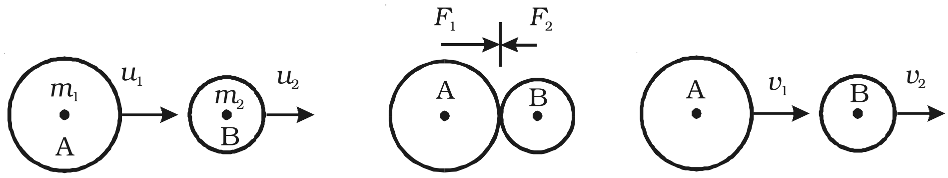
(vi) சுவர்மீது நம் உள்ளங்கையை (palm) வைத்து அழுத்தினால் (செயல்), உள்ளங்கையின் வடிவம் சிறிது மாறுகிறது. ஏனெனில், சுவர் நம் கையின் மீது சமவிசையை (எதிர்ச்செயல்) செயல்படுத்துகிறது.

உந்த அழிவின்மை விதி

கணத்தாக்கம் மற்றும் உந்தத் தத்துவத்திலிருந்து, விசையின் தாக்கம், $J = mv - mu$.

$J = 0$ எனில், $mv - mu = 0$ அல்லது $mv = mu$ அதாவது, அமைப்பின் இறுதி உந்தமும் தொடக்க உந்தமும் சமம்.

பொதுவாக, அமைப்பு ஒன்றின் மொத்த உந்தம் எப்போதுமே மாறாது. அதாவது, புறவிசைகளின் தாக்கம் சுழி எனில், அமைப்பின் மொத்த உந்தம் மாறாமல் இருக்கும். இதுவே உந்த அழிவின்மை விதியாகும்.



படம் 2.26 உந்த அழிவின்மை விதி

மெய்ப்பித்தல்

u_1 என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும் m_1 என்ற நிறையுடைய பொருள் A, அதே திசையில் u_2 என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் m_2 நிறையுடைய பொருள் B-யின் மீது மோதுவதாகக் கருதுவோம் (படம் 2.26).

மோதலுக்குப் பின், இரு பொருள்களின் திசை வேகங்கள் v_1 மற்றும் v_2 என மாற்றமடைந்து, தொடக்கத் திசையிலேயே இயங்குவதாகக் கருதுக. மோதலின் போது ஒவ்வொரு பொருளின் மீதும் விசை செயல்படுகிறது.

ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் விசையின் எண்மதிப்பு, மற்றொரு பொருளின் மீது செயல்படும் விசையின் எண்மதிப்புக்குச் சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கும். இரு விசைகளும் சம கால இடைவெளிகளில் செயல்படுகின்றன.

பொருள் A, பொருள் B–யின் மீது செயல்படுத்தும் விசை (செயல்) F_1 எனவும், பொருள் B, பொருள் A-யின் மீது செயல்படுத்தும் விசை (எதிர்ச்செயல்) F_2 எனவும் கொள்க. மோதலின் போது, இரு பொருள்களின் தொடுதல் (contact) காலம் t என்க.

t காலத்தில், B–யின் மீது செயல்படும் விசை, அதன் திசைவேகத்தை u_2 -யிலிருந்து v_2-ஆக மாற்றுகிறது.

$\therefore F_1$ = பொருள் B-யின் நிறை × பொருள் B–யின் முடுக்கம்

$$= m_2 \times \frac{(v_2 - u_2)}{t} \qquad ...(1)$$

t காலத்தில், A–யின் மீது செயல்படும் விசை, அதன் திசைவேகத்தை u_1யிலிருந்து v_1-ஆக மாற்றுகிறது.

$\therefore F_2$ = பொருள் A–ன் நிறை × பொருள் A–யின் முடுக்கம்

$$= m_1 \times \frac{(v_1 - u_1)}{t} \qquad ...(2)$$

நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்க விதிப்படி, $F_1 = - F_2$

அதாவது, $m_2 \times \frac{(v_2 - u_2)}{t} = - m_1 \times \frac{(v_1 - u_1)}{t}$

$$m_2 (v_2 - u_2) = - m_1 (v_1 - u_1)$$

$$m_2 v_2 - m_2 u_2 = - m_1 v_1 + m_1 u_1$$

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \qquad ...(3)$$

அதாவது, மோதலுக்கு முன் மொத்த உந்தம் = மோதலுக்குப் பின் மொத்த உந்தம்

அமைப்பின் மொத்த உந்தம் மாறாமலிருக்கும்.

இவ்வாறு, நேர்க்கோட்டு உந்த அழிவின்மை விதியை மெய்ப்பிக்கலாம்.

உந்த அழிவின்மை விதியின் பயன்பாடுகள்

(i) துப்பாக்கியின் பின்னியக்கம்

துப்பாக்கி மற்றும் குண்டின் (bullet) நிறைகள் முறையே m_g மற்றும் m_b எனக் கருதுக. துப்பாக்கியும் குண்டும் ஒரே அமைப்பாக உள்ளன. துப்பாக்கியைச் சுடுவதற்குமுன், குண்டும் துப்பாக்கியும் ஓய்வு நிலையில் உள்ளன. அதாவது, அவற்றின் திசைவேகங்கள் சுழியாகும். எனவே, அமைப்பின் மொத்த உந்தம் $m_g(0) + m_b(0) = 0$

துப்பாக்கியைச் சுடும்போது, குண்டு முன்னோக்கியும் துப்பாக்கி பின்னோக்கியும் இயங்குகின்றன. v_b மற்றும் v_g என்பன முறையே அவற்றின் திசைவேகங்கள் எனில், அமைப்பின் மொத்த உந்தம் $= m_b v_b + m_g v_g$

உந்த அழிவின்மை விதியின்படி, சுடுவதற்கு முன் மொத்த உந்தமும் சுட்டபின் மொத்த உந்தமும் சமம். அதாவது,

$$0 = m_b v_b + m_g v_g \quad \text{அல்லது} \quad v_g = -\frac{m_b}{m_g} v_b$$

v_g-யானது v_b-க்கு எதிர்த்திசையில் செயல்படுகிறது. m_b, m_g மற்றும் v_b மதிப்புகளை அறிந்திருந்தால் துப்பாக்கியின் பின்னியக்கத் திசைவேகம் v_g-ஐக் கணக்கிடலாம்.

(ii) குண்டு வெடித்தல் (explosion of a bomb)

குண்டு வெடிப்பதற்குமுன், அது ஓய்வு நிலையில் இருப்பதாகக் கருதப்பட்டால், அதன் உந்தம் சுழி ஆகும். அது, வெடித்துப் பல பகுதிகளாகச் சிதறும்போது, ஒவ்வொரு பகுதியும் ஒரு குறிப்பிட்ட உந்தத்தைப் பெற்றிருக்கும். ஒரு பகுதி, குறிப்பிடட உந்தத்துடன் ஒரு திசையில் வீசி எறியப்பட்டால் மற்றொரு பகுதி அதே அளவு உந்தத்துடன் எதிர்த்திசையில் வீசி எறியப்படும். குண்டு, இரு சமத் துண்டுகளாக வெடித்துச் சிதறினால், சம நிறை காரணமாக, அவை ஒரே வேகத்துடன் எதிரெதிர் திசையில் வீசி எறியப்படும்.

நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்க விதியின் பயன்பாடுகள்

(i) மின் உயர்த்தி ஒன்றில் எடையின் தோற்ற இழப்பு

M நிறையுள்ள மனிதர் ஒருவர் மின் உயர்த்தி (lift) ஒன்றினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள எடை அளவிடும் இயந்திரத்தின் மீது நிற்பதாகக் கருதுக.

மனிதரின் உண்மையான எடை = Mg

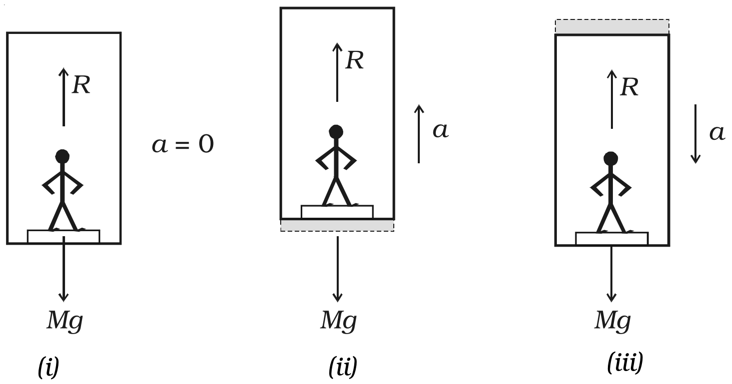
இந்த எடையை (செயல்) எடை அளவிடும் இயந்திரம் அளவிடுவதோடு மட்டுமல்லாமல், எதிர்ச்செயலையும் (R) ஏற்படுத்துகிறது. மனிதர் மீது தொடுகின்ற பரப்பு அளிக்கும் இந்த எதிர்ச்செயலே, மனிதரின் தோற்ற எடையாகும்.

நேர்வு (i) மின் உயர்த்தி ஓய்வு நிலையில் உள்ள போது

மனிதரின் முடுக்கம் = 0

$\therefore$ மனிதரின் மீது செயல்படும் மொத்த விசை = 0

படம் 2.27(i)-ல் இருந்து $R - Mg = 0$ அல்லது $R = Mg$ மனிதரின் தோற்ற எடையானது உண்மையான எடைக்குச் சமம்.



படம் 2.27 மின் உயர்த்தியில் எடையின் தோற்ற இழப்பு

நேர்வு (ii) மின் உயர்த்தி, மேல்நோக்கி அல்லது கீழ்நோக்கிச் சீராக இயங்குதல்

சீரான இயக்கத்தின்போது மனிதரின் முடுக்கம் சுழி. எனவே, இந்நிகழ்விலும் மனிதரின் தோற்ற எடையும் உண்மை எடையும் சமம் ஆகும்.

நேர்வு (iii) மின் உயர்த்தி, மேல்நோக்கி முடுக்கப்படும்போது

மின் உயர்த்தியில் உள்ள மனிதரின் மேல் நோக்கிய முடுக்கம் a எனில், மனிதரின் மீதான மேல்நோக்கிய மொத்த விசை, $F = ma$.

படம் 2.27(**ii**)–ல் இருந்து, மொத்த விசை

$F = R - Mg = Ma$ அல்லது $R = M(g + a)$

எனவே, மனிதரின் உண்மை எடையைவிட தோற்ற எடை அதிகம்.

நேர்வு (iv) மின் உயர்த்தி, கீழ்நோக்கி முடுக்கப்படும்போது

மின் உயர்த்தியில் உள்ள மனிதரின் கீழ்நோக்கிய முடுக்கம் a எனில், மனிதரின் மீதான கீழ்நோக்கிய மொத்த விசை, $F = Ma$

படம் 2.27(**iii**)-ல் இருந்து, மொத்த விசை

$F = Mg - R = Ma$ *அல்லது* $R = M(g - a)$

எனவே, மனிதரின் உண்மை எடையைவிட தோற்ற எடை குறைவு. மனிதரின் கீழ்நோக்கிய முடுக்கம், ஈர்ப்பின் முடுக்கத்திற்குச் சமம் எனில், அதாவது $a = g$ எனில்,

$R = M(g - g) = 0$

எனவே, மனிதரின் தோற்ற எடை சுழியாகிறது. இதனை, பொருளின் எடையின்மை என்கிறோம்.

(ii) ராக்கெட் மற்றும் ஜெட் விமானம் செயல்படுதல்

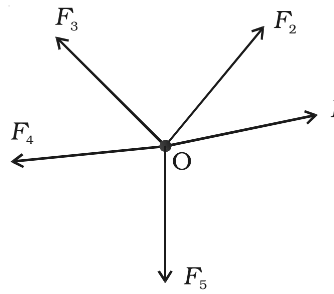
ராக்கெட் ஒன்று மேலெழும்பிச் செல்வது (propulsion), நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்கவிதிக்கும் உந்த அழிவின்மை விதிக்கும் மிகச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும். ராக்கெட் என்பது, காலத்தைச் சார்ந்து நிறை மாறுபடக் கூடிய ஒரு அமைப்பாகும். ராக்கெட்டில், எரிபொருள் எரியூட்டப்படுவதால், உயர் வெப்பநிலை மற்றும் உயர் அழுத்தத்தில் உருவாகும் வாயுக்கள் சிறு துவாரம் (nozzle) வழியே வெளியேறுகின்றன. ராக்கெட் ஏவப்படுவதற்குத் தேவையான செங்குத்து விசையை (thrust) வெளியேறும் வாயுக்களின் எதிர்ச்செயல் ஏற்படுத்துகிறது.

நேர்க்கோட்டு உந்த அழிவின்மை விதிப்படி, வெளியேறும் வாயுக்களின் உந்தமும் ராக்கெட்டிற்குக் கிடைத்த உந்தமும் சமமாக இருக்க வேண்டும். இதன் விளைவாக வாயுக்கள் வெளியேறும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் ராக்கெட் முன்னோக்கிச் செல்கிறது. ராக்கெட்டிற்கு அளிக்கப்படும் செங்குத்து விசை காரணமாக, அதன் திசைவேகமும் முடுக்கமும் தொடர்ந்து அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். வெளியேறும் வாயுக்களின் நிறை காரணமாக, ராக்கெட்டின் நிறையும், எரிபொருள் அமைப்பும் குறைந்து கொண்டே வரும்.

2.5 மைய விசைகளும் ஒருதள விசைகளும் (concurrent forces and coplanar forces)

பல்வகை விசைகளைப் பற்றிய அடிப்படை அறிவு, நடைமுறைப் பயன்பாடுகளிலும் பொறியியலிலும் (engineering) தேவைப்படுகிறது. நியூட்டனின்

இயக்கவிதிகள், விசையின் வரையறையையும், சமன்பாட்டையும் தருகின்றன. விசை என்பது ஒரு வெக்டர் அளவானதால், வெக்டர் இயற்கணித விதிகளைப் பயன்படுத்தி, விசைகளை இணைக்க முடியும். அம்புக் குறியிடப்பட்ட ஒரு நேர்க்கோடாக, விசையை வரைபடத்தில் குறிப்பிடலாம். கோட்டின் நீளம் விசையின் எண்மதிப்பையும், அம்புக்குறி திசையையும் குறிக்கும்.



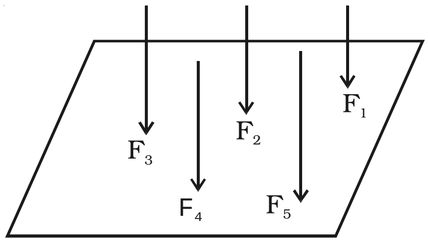
படம் 2.28 **மைய விசைகள்**

அனைத்து விசைகளின் கோடுகளும் ஒரு பொதுவானப் புள்ளியில் வெட்டினால், அந்த விசைத் தொகுதி மைய விசைகள் எனப்படும் (படம் 2.28).

அனைத்து விசைகளும், ஒரு தளத்தில் அமைந்த கோடுகள் வழியாக செயல்பட்டால் அந்த விசைத் தொகுதி ஒருதள விசைகள் எனப்படும் (படம் 2.29).

2.5.1 திண்மப் பொருள் மீது செயல் படும் விசைத் தொகுதியின் தொகுபயன்

திண்மப் பொருளொன்றின் மீது, இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட விசைகள் ஒரே சமயத்தில் செயல்பட்டு, அவைகள் ஏற்படுத்தும் விளைவை தனியொரு விசை ஏற்படுத்தினால், அந்தத் தனி விசையை, விசைத் தொகுதியின் தொகுபயன் எனலாம்.



படம் 2.29 **ஒருதள விசைகள்**

$\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்ற இரு விசைகள் ஒரே நேரத்தில் ஒரே திசையில் பொருளொன்றின்மீது செயல்பட்டால், அவற்றின் தொகுபயன்,

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q}$$

இது, அந்த விசைகளின் திசையிலேயே செயல்படும். $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ எதிரெதிர் திசையில் செயல்பட்டால், அவற்றின் தொகுபயன்,

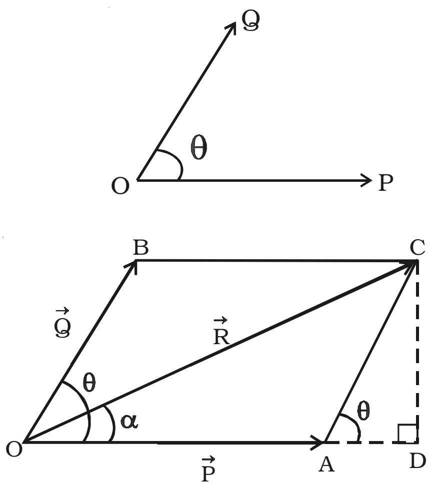
$$\vec{R} = \vec{P} \sim \vec{Q}$$

இது, பெரிய விசையின் திசையில் செயல்படும்.

$\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்ற விசைகள், ஒன்றுடன் ஒன்று சாய்வாகச் செயல்பட்டால், அவற்றின் தொகுபயனை விசைகளின் இணைகரவிதி மற்றும் விசைகளின் முக்கோண விதியைப் பயன்படுத்தி அறியலாம்.

2.5.2 விசைகளின் இணைகர விதி

ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் இரு விசைகள், இணைகரம் ஒன்றின் அடுத்தடுத்த பக்கங்களாக எண்மதிப்பிலும் திசையிலும் குறிப்பிடப்பட்டால், அவற்றின் தொகுபயன், இரு விசைகளின் பொதுவான வால்பகுதி வழியேச் செல்லும் மூலை விட்டத்தினால் எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் குறிப்பிடப்படும்.



படம் 2.30 **விசைகளின் இணைகரவிதி**

விளக்கம்

$\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்ற இரு விசைகள், படம் 2.30-ல் காட்டியவாறு O என்ற புள்ளியில் θ கோணத்தில் செயல்படுவதாகக் கருதுக.

$\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்ற விசைகள் எண் மதிப்பிலும் திசையிலும், OACB என்ற இணைகரத்தின் OA மற்றும் OB பக்கங்களாகக் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன.

$\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்ற விசைகளின் தொகுபயன் $\vec{R}$, இணைகரத்தின் மூலைவிட்டம் OC ஆகும். தொகுபயனின் எண்மதிப்பு,

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos\theta}$$

தொகுபயனின் திசை, $\alpha = \tan^{-1}\left[\dfrac{Q \sin\theta}{P + Q\cos\theta}\right]$

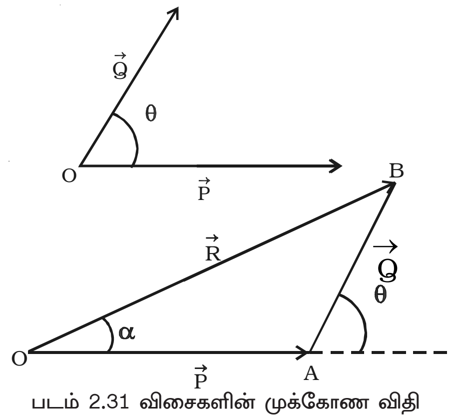
2.5.3 விசைகளின் முக்கோண விதி

ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் இரு விசைகளின் தொகுபயனை முக்கோண விதியைக் கொண்டும் அறியலாம்.

எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் குறிக்கப்பட்ட இரு விசைகள், வரிசைப்படி, ஒரு முக்கோணத்தின் அடுத்தடுத்தப் பக்கங்களாகக் கருதப்பட்டால் அவற்றின் தொகுபயன் எதிர்ப்புறமாக அந்த முக்கோணத்தின் மூடிய பக்கமாக இருக்கும்.

$\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்ற விசைகள் θ கோணத்தில் செயல்படுகின்றன. அவற்றின் தொகுபயனை முக்கோணம் ஒன்றை வடிவமைத்து அறிய, தலை முதல் வால் என்ற முறையைப் பயன்படுத்தலாம்.

படம் 2.31-ல், OA மற்றும் AB என்பன $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ ன் எண் மதிப்பையும் திசையையும் குறிப்பிடுகின்றன. முக்கோணத்தில், எதிர்வரிசையில் வரையப்பட்ட



படம் 2.31 விசைகளின் முக்கோண விதி

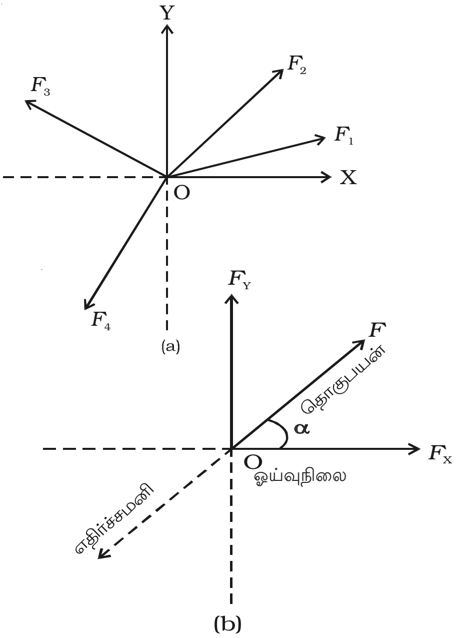
மூடப்பட்ட பக்கம் OB-யானது, $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$-ன் தொகுபயன் $\vec{R}$-ஐக் குறிக்கிறது. $\vec{R}$-ன் எண் மதிப்பையும் திசையையும், முக்கோணங்களின் சைன் விதி மற்றும் கொசைன் விதியைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம்.

''ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் மூன்று விசைகள் காரணமாக, பொருளொன்று சமநிலையில் இருந்தால், மூன்று விசைகளும் முக்கோணம் ஒன்றின் மூன்று பக்கங்களாக வரிசைப்படி குறிப்பிடப்படும்'' என்றும் விசைகளின் முக்கோண விதியைக் கூறலாம்.

ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் $\vec{P}$, $\vec{Q}$ மற்றும் $\vec{R}$ என்ற மூன்று விசைகளும், முக்கோணம் ஒன்றின் மூன்று பக்கங்களாகக் குறிப்பிடப்பட்டால், $\dfrac{P}{OA} = \dfrac{Q}{AB} = \dfrac{R}{OB}$

2.5.4 எதிர்ச்சமனி

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதியின்படி, விசையொன்று செயல்படும் போது, பொருளொன்று ஒரு திசை வேகத்துடன் இயங்கும். பொருளின் மீது, பல மைய விசைகள் செயல்படுத்தப் பட்டால், அது தொகுபயன் விசையின் திசையில் இயங்கும். தொகுபயன் விசைக்குச் சமமான விசையொன்றை, அப்பொருளின் மீது எதிர்த்திசையில் செயல்படுத்தினால், அது ஓய்வு நிலைக்கு வரும். எனவே, விசைத் தொகுதியின் எதிர்ச்சமனி என்பது, மற்ற விசைகளுடன் சேர்ந்து செயல்பட்டு, பொருளைச் சமநிலையில் நிறுத்தும் தனியொரு விசையாகும்.



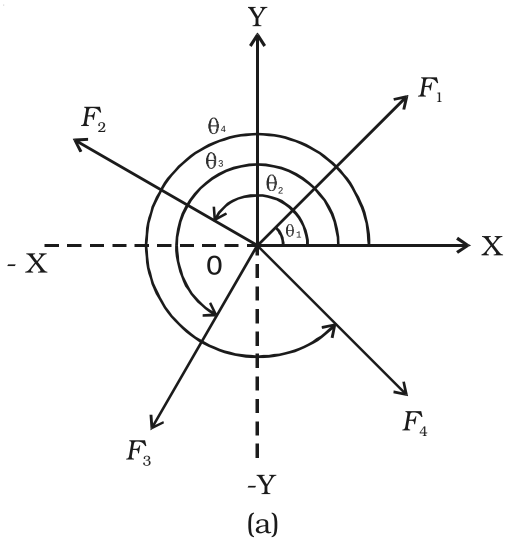
படம் 2.32 தொகுபயனும் எதிர்ச்சமனியும்

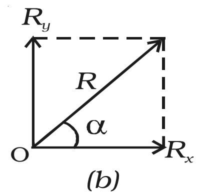
படம் 2.32a-ல் காட்டியவாறு, பொருள் O-ன் மீது F_1, F_2, F_3 மற்றும் F_4 என்ற விசைகள் செயல்படுவதாகக் கருதுவோம். அனைத்து விசைகளின் தொகுபயன் F எனில், பொருளை ஓய்வு நிலையில் நிறுத்த, Fக்குச் சமமான விசை (எதிர்ச்சமனி)

எதிர்த் திசையில் அதன் மீது செயல்பட வேண்டும் (படம் 2.32 b). (தொகுபயன் = – எதிர்ச் சமனி)

2.5.5 மைய விசைகளின் தொகுபயன்

படம் 2.33a-ல் காட்டியவாறு, பொருள் O-ன் மீது நான்கு விசைகள் செயல்படுவதாகக் கருதுக. அவ்விசைகள், X அச்சுடன் ஏற்படுத்தும் கோணங்கள் θ_1, θ_2, θ_3 மற்றும் θ_4 என இருக்கட்டும்.





படம் 2.33 மைய விசைகளின் தொகுபயன்

Oல் செயல்படும் ஒவ்வொரு விசையையும் அவற்றின் செவ்வகக் கூறுகளான F_{1x} மற்றும் F_{1y}, F_{2x} மற்றும் F_{2y} எனப் பிரிக்கலாம்.

எடுத்துக்காட்டாக, θ_1 கோணத்தில் செயல்படும் $\vec{F_1}$ என்ற விசையின் கூறுகளாவன, $F_{1x} = F_1 \cos \theta_1$ மற்றும் $F_{1y} = F_1 \sin \theta_1$

பொருளின்மீது விசைகள் ஏற்படுத்தும் விளைவினையே அவற்றின் கூறுகளும் ஏற்படுத்துகின்றன. F_{1x}, F_{2x}, F_{3x}, ... என்ற கிடைத்தளக் கூறுகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகை R_x என்ற ஒரு கிடைத்தளக் கூறாகும்.

அதாவது, $R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = \Sigma F_x$

அவ்வாறே, F_{1y}, F_{2y}, F_{3y} என்ற செங்குத்துக் கூறுகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகை R_y என்ற ஒரு செங்குத்துக் கூறாகும்.

அதாவது, $R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} = \Sigma F_y$

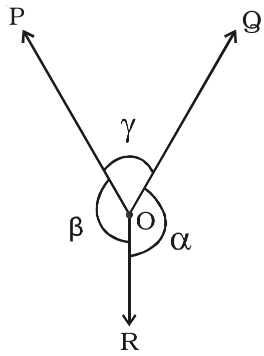
இந்த R_x மற்றும் R_y கூறுகளின் வெக்டர் கூடுதல், தொகுபயன் $\vec{R}$ ஆகும். படம் 2.33b-யில் இருந்து,

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 \quad \text{அல்லது} \quad R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$\text{மற்றும்} \qquad \tan \alpha = \frac{R_y}{R_x} \quad \text{அல்லது} \quad \alpha = \tan^{1} \left(\frac{R_y}{R_x}\right)$$

2.5.6 லாமியின் தோற்றம் (Lami's theorem)

மூன்று விசைகள் செயல்படும் ஒரு புள்ளியின் சமநிலைக்கான நியதிகளை லாமியின் தேற்றம் கூறுகிறது. ''ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் மூன்று விசைகள் சமநிலையில் இருப்பின், ஒவ்வொரு விசையும் மற்ற இரு விசைகளுக்கிடைப்பட்ட கோணத்தின் சைன் மதிப்பிற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்'' என்பது லாமியின் தேற்றமாகும்.



படம் 2.34 லாமியின் தேற்றம்

O என்ற புள்ளியில், $\vec{P}$, $\vec{Q}$ மற்றும் $\vec{R}$ என்ற மூன்று விசைகள் செயல்படுவதாகக் கருதுவோம் (படம் 2.34). இவ்விசைகளின் காரணமாக புள்ளி O ஓய்வு நிலையில் இருப்பின், லாமியின் தேற்றப்படி

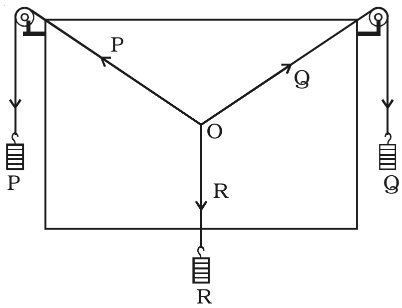
$$P \propto \sin \alpha$$

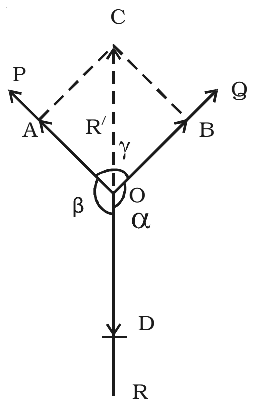
$$Q \propto \sin \beta \qquad \text{மற்றும்} \qquad R \propto \sin \gamma$$

$$\text{அதாவது} \qquad \frac{P}{\sin \alpha} = \frac{Q}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin \gamma} = \text{மாறிலி}$$

2.5.7 முக்கோண விதி, இணைகர விதி மற்றும் லாமியின் தேற்றத்தை சோதனை மூலம் சரிபார்த்தல்

படம் 2.35-ல் காட்டியவாறு, சுவரின் பரப்பின் மீது பொருத்தப்பட்ட வரைபலகையின் மேற்பக்கத்தில், இரு மூலைகளிலும் சிறிய கப்பிகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. உராய்வு ஏதுமின்றி கப்பிகள் எளிதில் சுழலுமாறு இருக்க வேண்டும். மெல்லிய நூல் (string) ஒன்று இரு கப்பிகளின் வழியே செல்லுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. நூலின் இரு முனைகளிலும் P மற்றும் Q என்ற இரு எடைகள் (50g-ன்படிகளாக) கட்டித் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. நீளம் குறைவான, மற்றொரு நூல் முதல் நூலின் மையம் O-ல் கட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த நூலின் முனையில் R என்ற மூன்றாவது எடை தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. அமைப்பு, ஓய்வு நிலையில் இருக்குமாறு, P, Q மற்றும் R என்ற எடைகளைச் சரிசெய்ய வேண்டும்.





படம் 2.35 சோதனை மூலம் சரிபார்த்தல்

நூல்களின் வழியாகச் செயல்படும் P, Q மற்றும் R என்ற விசைகளினால், O என்ற புள்ளி சமநிலையில் இருக்கும். நூலிற்குப் பின்புறம் நூலைத் தொடாமல் வெள்ளைத் தாள் ஒன்றினை வைத்து பொதுப்புள்ளி (முடிச்சு) Oவையும் OA, OB மற்றும் OD என்ற திசைகளையும் தாளில் குறிக்க வேண்டும். இவற்றைக் கொண்டு, P, Q, R என்ற விசைகளின் எண் மதிப்புகளை விருப்பப்பட்ட அளவீட்டில் குறிப்பிடலாம். (50 g = 1 cm)

P, Q மற்றும் R-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்குச் சோதனையை மீண்டும் மீண்டும் செய்து, அளவீடுகளை அட்டவணைப்படுத்த வேண்டும்.

இணைகர விதியை மெய்ப்பித்தல்

P மற்றும் Q என்ற இரு விசைகளின் தொகுபயன் கணக்கிடப்பட, OACB என்ற இணைகரம் வரையப்பட்டுள்ளது. இணைகரத்தில் OA என்பது P-யையும், OB என்பது Qயையும் குறித்தால், மூலைவிட்டம் OC-யானது தொகுபயனைக் குறிக்கிறது. மூலைவிட்டம் OC-யின் நீளத்தையும், $\underline{|COD}$ –யையும் அளந்து அட்டவணைப்படுத்த வேண்டும் (அட்டவணை 2.2).

OC என்பது P மற்றும் Q-ன் தொகுபயன் R' ஆகும். புள்ளி O, ஓய்வு நிலையில் இருப்பதால் தொகுபயன் R' ஆனது எதிர்த்திசையில் செயல்படும் மூன்றாவது விசை R–க்குச் (எதிர்ச்சமனி) சமமாக இருக்க வேண்டும். அதாவது OC=OD. மேலும் OCயும் ODயும் எதிர்எதிர் திசையில் இருப்பதால் $\underline{|COD}$ என்பது 180^o க்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

OC = OD மற்றும் $\underline{|COD} = 180^o$ என இருந்தால், இணைகர விதி மெய்ப்பிக்கப்பட்டது எனலாம்.

அட்டவணை 2.2 இணைகர விதியை மெய்ப்பித்தல்

வ.எண்.	P	Q	R	OA	OB	OD (R)	OC (R′)	$\angle COD$
1.								
2.								
3.								

முக்கோண விதியை மெய்ப்பித்தல்

விசைகளின் முக்கோண விதிப்படி, P (= OA = BC) மற்றும் Q (OB)-யின் தொகுபயன் எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் OC-யாக எதிர்வரிசையில் குறிக்கப்படுகிறது.

$\frac{P}{OA}, \frac{Q}{OB}, \frac{R'}{OC}$ என்ற மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டு அட்டவணைப்படுத்த வேண்டும் (அட்டவணை 2.3). மூன்று மதிப்புகளும் சமம் என அறிவதன் மூலம் விசைகளின் முக்கோண விதியை மெய்ப்பிக்கலாம்.

அட்டவணை 2.3 முக்கோண விதியை மெய்ப்பித்தல்

வ.எண்.	P	Q	R^1	OA	OB	OC	$\frac{P}{OA}$	$\frac{Q}{OB}$	$\frac{R'}{OC}$
1.									
2.									
3.									

லாமியின் தேற்றத்தை மெய்ப்பித்தல்

P, Q மற்றும் R என்ற மூன்று விசைகளுக்கு இடையேயான கோணங்களை, பாகைமானியைக் கொண்டு $\angle BOD = \alpha$, $\angle AOD = \beta$, $\angle AOB = \gamma$ என அளந்து அட்டவணைப்படுத்த வேண்டும் (அட்டவணை 2.4).

$\frac{P}{\sin\alpha}, \frac{Q}{\sin\beta}, \frac{R}{\sin\gamma}$ என்ற மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டு, அவை சமம் என அறியப்படுவதன் மூலம் லாமியின் தேற்றத்தை மெய்ப்பிக்கலாம்.

அட்டவணை 2.4 லாமியின் தேற்றத்தை மெய்ப்பித்தல்

வ.எண்.	P	Q	R	α	β	γ	$\frac{P}{\sin\alpha}$	$\frac{Q}{\sin\beta}$	$\frac{R}{\sin\gamma}$
1.									
2.									
3.									

2.5.8 மைய விசைத் தொகுதி ஒன்றின் செயல்பாட்டினால் திண்மப் பொருள் ஒன்று சமநிலையில் இருக்க நிபந்தனைகள்

(i) மூன்று விசைகளின் செயல்பாட்டினால் பொருள் ஒன்று சமநிலையில் இருக்கவேண்டுமெனில், இரு விசைகளின் தொகுபயன், மூன்றாவது விசைக்குச் சமமாகவும் எதிர்த் திசையிலும் இருக்க வேண்டும். எனவே, மூன்றாவது விசை செயல்படும் கோடு **(line of action of force)**, மற்ற இரு விசைகள் செயல்படும் கோடுகள் வெட்டும் புள்ளி வழியாகச் செல்ல வேண்டும். சமநிலையில் இருக்கும் மூன்று ஒருதள விசைகளின் தொகுதி, இணைகர விதி, முக்கோண விதி மற்றும் லாமியின் தேற்றம் போன்றவற்றை ஏற்க வேண்டும். அமைப்பில் நேர்க்கோட்டியக்கம் இல்லாததை இந்த நியதி உறுதிப்படுத்துகிறது.

(ii) எந்தவொரு புள்ளியைப் பொருத்த திருப்புத் திறன்களின் குறியியல் கூட்டுத் தொகை சுழிக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

அதாவது, எந்தவொரு புள்ளியைப் பொருத்த வலஞ்சுழித் திருப்பு திறன்களின் கூடுதல் அதே புள்ளியைப் பொருத்த இடஞ்சுழித் திருப்புதிறன்களின் கூடுதலுக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். சுழற்சி இயக்கம் இல்லாததை, இந்த நியதி உறுதிப்படுத்துகிறது.

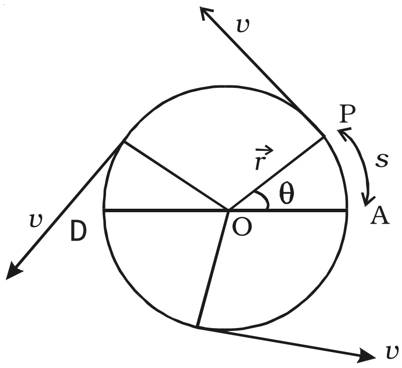
2.6 சீரான வட்ட இயக்கம்

சூரியனைச் சுற்றிய புவியின் இயக்கம், சுழலும் சக்கரம், அணுக்கருவைச் சுற்றிய எலக்ட்ரானின் இயக்கம், சுழலும் பம்பரம், மின்விசிறி இறக்கையின் இயக்கம், புவியைச் சுற்றிய நிலவின் இயக்கம் போன்றவை வட்ட இயக்கத்திற்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும். மேற்கண்டவற்றில் பொருள்கள் அல்லது துகள்கள் வட்டப் பாதையில் செல்கின்றன. எனவே அந்தப் பொருள்களின் இயக்கத்தைப் புரிந்துகொள்வது அவசியமாகும்.

துகள் ஒன்று, சீரான வேகத்தில் வட்டப் பாதையில் இயங்கினால், அதன்

இயக்கத்தை ஒரு தளத்தில் சீரான வட்ட இயக்கம் எனலாம். வட்ட இயக்கத்தில் திசைவேகத்தின் எண்மதிப்பு மாறாமல் இருக்கும். ஆனால், திசை மாறிக்கொண்டே இருக்கும்.

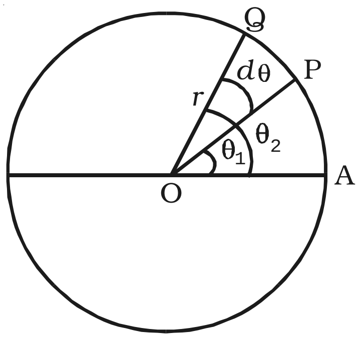
படம் 2.36-ல் காட்டியவாறு, m நிறையுள்ள துகள் ஒன்று, v திசைவேகத்தில், O-வை மையமாகக் கொண்ட r ஆரமுடைய வட்டத்தின் வழியாக இயங்குவதாகக் கருதுவோம். குறிப்பிட்ட ஒரு கணத்தில் துகள், P என்ற நிலையில் இருக்கும்போது, OP என்ற ஆரக்கோடு DA என்ற சுட்டுக் (reference) கோட்டுடன் θ கோணத்தை ஏற்படுத்துகிறது. திசைவேகத்தின் எண் மதிப்பு மாறாமல் இருக்கிறது. ஆனால், அதன் திசை மாறிக்கொண்டே இருக்கிறது. நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம், எப்பொழுதுமே துகளின் நிலைக்குத் தொடுகோட்டின் வழியே செயல்படுகிறது. அதாவது, $\vec{v}$ என்ற நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம் $\vec{r}$ என்ற ஆரவெக்டருக்கு செங்குத்தாகும்.



படம் 2.36 சீரான வட்ட இயக்கம்

2.6.1 கோண இடப்பெயர்ச்சி

m நிறையுடைய துகள் ஒன்று r ஆரமுள்ள வட்டப்பாதையில் இயங்குவதாகக் கருதுவோம் (படம் 2.37). துகளின் தொடக்க நிலை A என்க. t மற்றும் t + dt காலங்களில் துகளின் நிலைகள் முறையே P மற்றும் Q ஆகும். dt கால இடைவெளியில், துகளானது வட்டப்பாதையில் ds தொலைவு கடந்ததாக இருக்கட்டும். இந்தக் கால இடைவெளியில், அது ஏற்படுத்திய கோணம் $d\theta = \theta_2 - \theta_1$. குறிப்பிட்ட காலத்தில் ஆர வெக்டர் ஏற்படுத்தும் கோணம், துகளின் கோண இடப் பெயர்ச்சி ஆகும்.



படம் 2.37 கோண இடப்பெயர்ச்சி

r என்பது வட்டத்தின் ஆரமானால், கோண இடப்பெயர்ச்சி $d\theta = \dfrac{ds}{r}$

கோண இடப்பெயர்ச்சி ரேடியன் (radian) என்ற அலகினால் அளவிடப்படுகிறது.

2.6.2 கோணத் திசைவேகம்

கோண இடப்பெயர்ச்சி மாறும் வீதம், துகளின் கோணத் திசைவேகம் ஆகும்.

dt காலத்தில், துகள் ஏற்படுத்தும் கோண இடப்பெயர்ச்சி dθ எனில், கோணத் திசைவேகம்,

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

இதன் அலகு rad s^{-1} மற்றும் பரிமாண வாய்ப்பாடு T^{-1}.

ஒரு முழுச்சுற்றின் போது, ஆரவெக்டர் ஏற்படுத்தும் கோணம் 360^o அல்லது 2π rad. ஒரு முழுச் சுற்றிற்கு ஆகும் காலம் T எனில், கோணத் திசைவேகம்,

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

துகளானது, ஒரு நொடியில் n சுற்றுக்கள் சுற்றினால், $\omega = 2\pi\left(\frac{1}{T}\right) = 2\pi\, n$

இங்கு $n = \frac{1}{T}$, சுற்றுக்களின் அதிர்வெண் ஆகும்.

2.6.3 நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகத்திற்கும் கோணத் திசைவேகத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

P என்ற பொருள் r ஆரமுள்ள வட்டப் பாதையில் v என்ற நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகத்துடனும் ω என்ற கோணத் திசைவேகத்துடனும் இயங்குவதாகக் கருதுவோம் (படம் 2.38). அது, dt காலத்தில் P–யிலிருந்து Q–க்கு நகருவதால் ஆரவெக்டர் $d\theta$ கோணத்தை ஏற்படுத்துகிறது.

வட்டத்தின் வழியே துகள் ஏற்படுத்தும் வட்ட வில்லின் நீளம், PQ = ds எனில், கோண இடப் பெயர்ச்சி

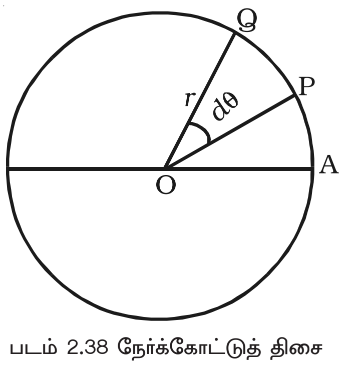
$$d\theta = \frac{ds}{r} \text{ ஆனால் } ds = v\,dt$$

$$\therefore\ d\theta = \frac{v\ dt}{r} \text{ (அல்லது) } \frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{r}$$

அதாவது, கோணத்திசைவேகம், $\omega = \frac{v}{r}$

அல்லது $v = \omega\, r$

வெக்டர் குறியீட்டில், $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$



படம் 2.38 நேர்க்கோட்டுத் திசை வேகத்திற்கும் கோணத் திசை வேகத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

எனவே, குறிப்பிட்ட கோணத் திசைவேகத்திற்கு (ω), துகளின் நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம் (v) வட்டப் பாதையின் மையத்திலிருந்து துகள் உள்ள தொலைவிற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். அதாவது, சீரான வட்ட இயக்கத்தில் உள்ள பொருளுக்கு, பொருளில் உள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளுக்கும் கோணத் திசைவேகம் சமம்; ஆனால், வெவ்வேறு புள்ளிகளுக்கு நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம் வெவ்வேறாக இருக்கும்.

2.6.4 கோண முடுக்கம்

சுழல் இயக்கம் மேற்கொள்ளும் பொருளின் கோணத் திசைவேகம் சீரற்றதாக இருப்பின், அப்பொருள் கோண முடுக்கம் பெற்றுள்ளது எனலாம். கோணத் திசைவேகம் மாறும் வீதம் கோண முடுக்கம் ஆகும்.

வட்டப்பாதையில் செல்லும் பொருளின் கோணத் திசைவேகம், t காலத்தில் ω_1 - லிருந்து ω_2-க்கு மாறினால், கோண முடுக்கம்

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{d\theta}{dt}\right) = \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

கோண முடுக்கத்தின் அலகு rad s^{-2} மற்றும் பரிமாண வாய்ப்பாடு T^{-2}

2.6.5 நேர்க்கோட்டு முடுக்கத்திற்கும் கோண முடுக்கத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

dt கால இடைவெளியில் நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகத்தில் ஏற்படும் சிறிய மாற்றம் dv எனில், நேர்க்கோட்டு முடுக்கம்

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(r\omega) = r\frac{d\omega}{dt} = r\alpha$$

2.6.6 மையநோக்கு முடுக்கம்

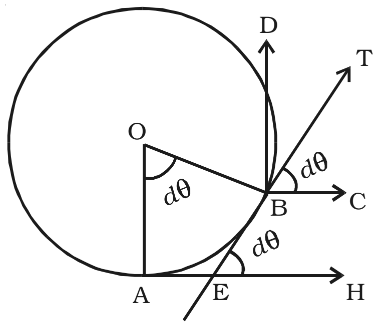
சீரான வட்ட இயக்கத்திலுள்ள துகளின் வேகம் மாறாமல் இருக்கும். ஆனால், திசை மாறிக்கொண்டே இருப்பதால் அதனுடைய திசைவேகம் மாறும். அதாவது, சீரான இயக்கத்திற்கு உட்படும் துகளிற்கு முடுக்கம் ஏற்படுகிறது.

துகள் ஒன்று, v நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகத்துடனும் ω கோணத் திசைவேகத் துடனும் r ஆரமுள்ள வட்டப்பாதையில் இயங்குவதாகக் கருதுக. துகளின் நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம் தொடுகோட்டின் வழியே செயல்படும். dt காலத்தில், துகளானது A-யிலிருந்து B-க்கு நகரும்போது, மையத்தில் $d\theta$ கோணம் ஏற்படுத்தப் படுகிறது.

A மற்றும் B என்ற புள்ளிகளில், நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகமானது முறையே AH மற்றும் BT வழியாகச் செயல்படுகிறது. படம் 2.39–ல் $\angle AOB = d\theta = \angle HET$

(ஏனெனில், வட்டத்தின் இரு ஆரங்கள் ஏற்படுத்தும் கோணமும் இரு தொடுகோடுகள் ஏற்படுத்தும் கோணமும் சமம்.)

Bயில் துகளின் திசைவேகம் v, BC என்ற கோட்டுடன் $d\theta$ கோணத்தை ஏற்படுத்துவதால், அதனை $V\ cos d\theta$ என்ற கிடைத்தளக் கூறாகவும் $v\ sin\ d\theta$ என்ற செங்குத்துக் கூறாகவும் பகுக்கலாம்.



படம் 2.39 மையநோக்கு முடுக்கம்

∴ கிடைத்திசையில் திசைவேக மாறுபாடு = $v\ cos\ d\theta - v$

$d\theta$ மிகச் சிறியது, எனில், $cos\ d\theta = 1$

∴ கிடைத்திசையில் திசைவேக மாறுபாடு = $v - v = 0$

அதாவது, கிடைத்திசையில் திசைவேக மாற்றம் இல்லை.

செங்குத்துத் திசையில் (AO வழியாக) திசைவேகமாற்றம்,

$dv = v\ sin\ d\theta - 0 = v\ sin\ d\theta$

$d\theta$ மிகச் சிறியது எனில் $sin\ d\theta = d\theta$

∴ செங்குத்துத் திசையில், அதாவது வட்டத்தின் ஆரம் வழியே திசைவேக மாற்றம்,

$$dv = v.d\theta \qquad \ldots(1)$$

ஆனால், முடுக்கம்

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v\,d\theta}{dt} = v\omega \qquad \ldots(2)$$

இங்கு $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, துகளின் கோணத் திசைவேகம் ஆகும்.

நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம், $v = r\ \omega$ ...(3)

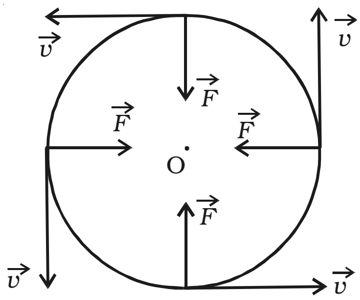
சமன்பாடுகள் (2) மற்றும் (3)-லிருந்து,

$$a = r\omega\ \omega = r\omega^2 = \frac{v^2}{r} \qquad \ldots(4)$$

எனவே, சீரான வட்ட இயக்கத்திற்கு உட்படும் துளின் முடுக்கம் $\frac{v^2}{r}$ ஆகும். இது AO வழியாக, அதாவது, வட்டத்தின் மையத்தை நோக்கி இருக்கும்.

வட்டத்தின் ஆரத்தின் வழியாக, மையத்தை நோக்கியும் துகளின் திசைவேகத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் ஏற்படும் முடுக்கம், மையநோக்கு அல்லது ஆரவகை அல்லது செங்குத்து முடுக்கம் எனப்படும்.

2.6.7 மையநோக்கு விசை



படம் 2.40 **மையநோக்கு விசை**

நியூட்டனின் முதல் இயக்க விதிப்படி, பொருள் ஒன்று திசையின் நிலைமத்தைப் பெற்றிருக்கும். அதாவது, பொருள் தனது திசையைத் தானே மாற்றிக் கொள்ள இயலாது. புறவிசை இல்லாதபோது இயக்கத்தின் திசையை மாற்ற முடியாது. எனவே, பொருள் ஒன்று வட்டப்பாதையில் இயங்கும்போது, அதன் நேர்க்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து தொடர்ச்சியான மாற்றத்திற்கு விசை செயல்பட வேண்டும் (படம் 2.40). பொருள் இயங்கும் திசையில், செயல்படுத்தப்படும் விசையின் கூறு இருக்கக் கூடாது அல்லது பொருள் இயங்கும் திசையில் ஒவ்வொரு புள்ளிக்கும் செங்குத்தாக விசை செயல்பட வேண்டும். எனவே, இந்த விசை ஆரத்தின் வழியாக, மையத்தை நோக்கிச் செயல்பட வேண்டும்.

எனவே, வட்ட இயக்கத்தை ஏற்படுத்த, ஆரத்தின் வழியே மையத்தை நோக்கியும் பொருளின் திசைவேகத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மாறாத விசை ஒன்று செயல்பட வேண்டும். இவ்விசையை மையநோக்கு விசை என்கிறோம்.

பொருளின் நிறை m எனில், மையநோக்கு விசையின் எண் மதிப்பு,

F = நிறை × மைய நோக்கு முடுக்கம்

$$= m\left(\frac{v^2}{r}\right) = \frac{mv^2}{r} = m\,(r\,\omega^2)$$

எடுத்துக்காட்டுகள்

ஈர்ப்பியல் விசை, உராய்வு விசை, மின் விசை, காந்த விசை போன்றவைகள் மைய நோக்கு விசைகளாகச் செயல்படும்.

(i) நூலில் கட்டப்பபடட கல் ஒன்றை வட்டப்பாதையில் சுற்றச் செய்யும்போது, நூலில் ஏற்படும் இழுவிசை மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்துகிறது.

(ii) வளைவுப் பாதையில் கார் (car) ஒன்று திரும்பும்போது டயர்களுக்கும் சாலைக்கும் இடையே உள்ள உராய்வு விசை, மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்துகிறது.

(iii) கோள்கள் சூரியனைச் சுற்றி வருதலிலும், நிலவு புவியைச் சுற்றி வருதலிலும், அவற்றிற்கிடையேயான ஈர்ப்பியல் விசை, மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்துகிறது.

(iv) எலக்ட்ரான், அணுக்கருவைச் சுற்றி வரும்போது, அவற்றிற்கிடையேயான நிலை மின்னியல் கவர்ச்சி விசை, மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்துகிறது.

2.6.8 மைய விலக்கு எதிர்ச்செயல்

நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்க விதிப்படி, ஒவ்வொரு செயலுக்கும் சமமான மற்றும் எதிரான எதிர்ச்செயல் ஒன்று உண்டு. மையநோக்கு விசைக்குச் சமமான, எதிரான எதிர்ச்செயல் மையவிலக்கு எதிர்ச்செயல் எனப்படும். ஏனெனில், பொருளை மையத்தைவிட்டு வெளியேச் செல்லுமாறு இந்த எதிர்ச்செயல் செய்கிறது. சுற்றிவரும் பொருளின் முடுக்கத்தின் காரணமாகச் செயல்படும் அல்லது செயல்படுவதாக நினைக்கக்கூடிய ஒரு மாயம் **(pseudo)** அல்லது தோற்ற விசையே மைய விலக்கு எதிர்ச்செயலாகும்.

நூல் ஒன்றில் கட்டப்பட்ட கல்லனாது வட்டப் பாதையில் சுற்றிவரும்போது, கல்லின் மீது மட்டும் நூலின் வழியாக மையத்தை நோக்கிய விசை செயல்படுவதில்லை; கல்லும் நம் விரலின் மீது நூலின் வழியாக மையத்தை விட்டு விலகிய விசையை (மைய விலக்கு விசை) செயல்படுத்துகிறது. கைவிரலிலிருந்து நூலினை விடுவித்தால், இழுவிசை மறைந்து, வட்டப்பாதையின் தொடுகோட்டின் வழியே கல் (நியூட்டனின் முதல் இயக்கவிதியின்படி) பறந்து விடும்.

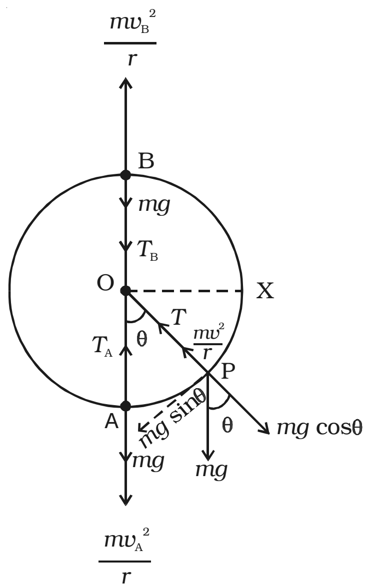
வளைவுப் பாதை ஒன்றில் கார் **(car)** திரும்பும் போது, காரினுள் அமர்ந்திருப்பவர் வெளிப்புறம் நோக்கிய விசையை உணர்கிறார். ஏனெனில், அவரால் மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்த முடியவில்லை. எனவே, அவர், வெளிப்புற விசையைத் தவிர்க்க உட்புறம் நோக்கிய விசையை செயல்படுத்த வேண்டும்.

2.6.9 மையநோக்கு விசைகளின் பயன்பாடுகள்

(i) செங்குத்து வட்டத்தில் இயக்கம்

m நிறையுள்ள பொருளொன்று நூலினால் கட்டப்பட்டு, O என்ற புள்ளியைப் பொருத்து, r ஆரமுள்ள செங்குத்து வட்டப்பாதையில் சுற்றி வருவதாகக் கருதுவோம். (படம் 2.41) இது வட்ட இயக்கம். ஆனால் சீரான இயக்கம் அல்ல. ஏனெனில், பொருள் கீழே வரும் போது வேகம் அதிகரிக்கும். மேலே செல்லும்போது வேகம் குறையும்.

t என்ற கணத்தில், பொருள் P-யில் இருந்தால், நூலில் உள்ள T என்ற இழுவிசை எப்பொழுதுமே O-வை நோக்கியே செயல்படும்.



படம் 2.41 செங்குத்து வட்டத்தில் பொருளின் இயக்கம்

P-யில் பொருளின் எடை mg-ஐ நூலின் வழியாக வெளிப்புறம் நோக்கி $mg \cos\theta$ எனவும் நூலிற்குச் செங்குத்தாக $mg \sin\theta$ எனவும் இரு கூறுகளாகப் பகுக்கலாம்.

பொருள் P-யில் உள்ளபோது, அதன் மீது நூலின் வழியாக கீழ்க்காண் விசைகள் செயல்படும்.

(i) OP வழியாக (வெளிப்புறமாக) செயல்படும் $mg \cos\theta$

(ii) PO வழியாக (உட்புறமாக) செயல்படும் இழுவிசை T.

P-யில் PO வழியாக பொருளின் மீதான மொத்த விசை $T = mg \cos\theta$

தேவையான மையநோக்கு விசை $\frac{mv^2}{r}$ – ஐ இந்த விசை ஏற்படுத்த வேண்டும்.

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

$$T = mg \cos\theta + \frac{mv^2}{r} \qquad ...(1)$$

பாதையின் அடிப்புள்ளி A-ல், $\theta = 0^o$, $\cos 0^o = 1$. சமன்பாடு (1)-ல் இருந்து

$$T_A = mg + \frac{mv_A^2}{r} \qquad ...(2)$$

பாதையின் மேல்புள்ளி B-ல், $\theta = 180^o$, $\cos 180^o = -1$. சமன்பாடு (1)-ல் இருந்து

$$T_B = \frac{mv_B^2}{r} - mg$$

$$T_B = m\left(\frac{v_B^2}{r} - g\right) \qquad ...(3)$$

$T_B > 0$ எனில், நூல் தொய்வின்றி விறைப்பாக இருக்கும். $T_B < 0$ எனில், நூலில் தொய்வு ஏற்பட்டு, செங்குத்து வட்ட இயக்கத்தை நிறைவு செய்ய முடியாது.

திசைவேகம் v_2 குறைந்தால், நூலின் இழுவிசை T_B-யும் குறைந்து, ஒரு குறிப்பிட்ட சிறுமத் திசைவேகமான மாறுநிலைத் திசைவேகத்தில் சுழியாகி விடும்.

v_C என்பது மாறுநிலைத் திசைவேகம் எனில்,

$v_2 = v_C$ என்ற போது $T_B = 0$

சமன்பாடு (3)-ல் இருந்து

$$\frac{mv_C^2}{r} - mg = 0 \text{ அல்லது } v_C^2 = rg$$

$$v_c = \sqrt{rg} \qquad \ldots(4)$$

B என்ற மேல்புள்ளியில், பொருளின் திசைவேகம் மாறுநிலைத் திசைவேகத்தைவிடக் குறைவாக இருப்பின், நூல் தளர்வுற்று, பொருள் தொடர்ந்து வட்டப்பாதையில் இயங்காமல் கீழே விழுந்து விடும்.

மேல்புள்ளியில் v_2 என்ற திசைவேகம், மாறுநிலைத் திசைவேகமான $\sqrt{rg}$ -ஐ விடக் குறைவாக இருக்கக்கூடாதெனில், அடிப்புள்ளியில் குறைந்தபட்சத் திசைவேகம் v_A என்பது $v_B = \sqrt{rg}$ என்ற அளவில் இருக்க வேண்டும். அதாவது, $v_2 \geq \sqrt{rg}$ என இருந்தால் மட்டுமே செங்குத்து வட்ட இயக்கம் ஏற்படும்.

அடிப்புள்ளி Aயில், பொருளின் திசைவேகத்தைப்பெற ஆற்றல் அழிவின்மை விதியைப் பயன்படுத்தலாம். பொருள் Aயிலிருந்து Bக்கு $2r$ உயரத்திற்குச் செல்லும்போது குறையக்கூடிய இயக்க ஆற்றல் நிலையாற்றலாக அதிகரிக்கிறது. எனவே,

(A-ல் நிலை ஆற்றல் + A-ல் இயக்க ஆற்றல்) = (B-ல் நிலை ஆற்றல் + B-ல் இயக்க ஆற்றல்)

அதாவது, $0 + \frac{1}{2} m v_A^2 = mg(2r) + \frac{1}{2} m v_B^2$

$\frac{m}{2}$ -ஆல் வகுக்க,

$$v_A^2 = v_B^2 + 4gr \qquad \ldots(5)$$

சமன்பாடு (4)-ல் இருந்து, $v_B^2 = gr$

$(\because v_B = v_C)$

$\therefore$ (5)-வது சமன்பாடு,

$v_A^2 = gr + 4gr$ அல்லது

$$v_A = \sqrt{5gr} \qquad \ldots(6)$$

v_A-ன் மதிப்பை (6)-வது சமன்பாட்டிலிருந்து (2)-வது சமன்பாட்டில் பிரதியிட,

$$T_A = mg + \frac{m(5gr)}{r} = mg + 5mg$$

$$= 6\,mg \qquad \ldots(7)$$

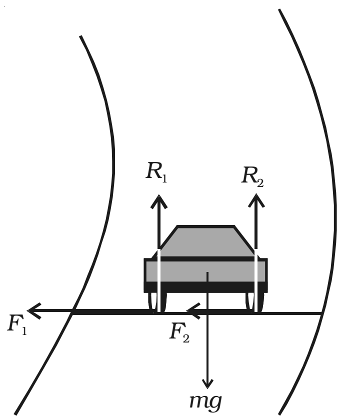
செங்குத்து வட்ட இயக்கத்தில், மேல்புள்ளியில் திசைவேகம் $\sqrt{gr}$ -ஐவிட

அதிகமாகவும் அல்லது இழுவிசை ≥ 0 எனவும் இருக்க, அடிப்புள்ளியில் திசைவேகம் $\sqrt{5gr}$ -ஐ விட அதிகமாகவும் அல்லது இழுவிசை $6\ mg$-ஐ விட அதிகமாகவும் இருக்க வேண்டும்.

ஆகாய விமானம், செங்குத்தாக வட்டமிட வேண்டுமெனில், அடிப்புள்ளியில் திசைவேகம் $\sqrt{5gr}$ -ஐ விட அதிகமாக இருக்க வேண்டும். அப்போதுதான் மேல்புள்ளியில் திசைவேகம் $\sqrt{gr}$ -ஐவிட அதிகமாக இருக்கும். இவ்வாறு இருக்கும்போது, விமானத்தில் அமர்ந்திருக்கும் விமானி (Pilot) கீழே விழமாட்டார்.

(ii) சரிசமமான வட்டச்சாலையில் இயக்கம்

வாகனம் ஒன்று சரிசமமான வளைவுப் பாதையில் செல்லும்போது, அதன்மீது மையநோக்கு விசை செயல்பட வேண்டும். வளைவுப் பாதையில் செல்லும்போது, வாகனத்தின் சக்கரங்கள் வளைவுப் பாதையிலிருந்து விலகி நேர்க்கோட்டுப் பாதையில் செல்ல முயற்சிக்கும். சக்கரங்களின் இந்த முயற்சியை சாலைக்கும் டயர்களுக்கும் இடையிலான உராய்வு விசை எதிர்க்கும். இந்த உராய்வு விசை வளைவுப் பாதையின் மையத்தை நோக்கிச் செயல்பட்டு, தேவையான மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்துகிறது.



படம் 2.42 சரிசமமான வளைவுச் சாலையில் வாகனம்

படம் 2.42-ல் வாகனத்தின் எடை mg கீழ்நோக்கிச் செயல்படுகிறது. R_1, R_2 என்பன, சக்கரங்கள் மீது சாலை ஏற்படுத்தும் செங்குத்து எதிர்ச்செயல் விசைகளாகும். சாலை, சரிசமமாக (கிடைத்தளமாக) இருப்பதால் R_1 மற்றும் R_2 செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் செயல்படும்.

ஆகையால், $R_1 + R_2 = mg$ ...(1)

உராய்வுக் குணகம் μ* எனவும், வளைவுப் பாதையின் மையத்தை நோக்கிய உராய்வு விசைகள் F_1 மற்றும் F_2 எனவும் இருக்கட்டும்.

**உராய்வு : ஒரு பொருள் மற்றொரு பொருளின் மீது சறுக்கும்போது, இரு தொடு பரப்புகளுக் கிடையே செயல்படும் விசை உராய்வு விசையாகும். பொருளின் இயக்கத்திற்கு எதிர்த்திசையில் இந்த உராய்வு விசை செயல்படும். உராய்வு விசையானது, செங்குத்து எதிர்ச்செயலைச் சார்ந்தது. (பொருளின் மீது தொடுபுள்ளியில், அதன் எடை காரணமாகவே செயல்படுவது செங்குத்து எதிர்ச்செயல் விசையாகும்)*

அதாவது, உராய்வு விசை α செங்குத்து எதிர்ச்செயல்

$$F \alpha R \text{ அல்லது } F = \mu R$$

இங்கு μ என்பது உராய்வுக் குணகம் எனப்படும் தகவு மாறிலியாகும். உராய்வுக் குணகமானது பரப்பின் தன்மையைச் சார்ந்தது.

$\therefore\ F_1 = \mu R_1$ மற்றும் $F_2 = \mu R_2$ ...(2)

வளைவில் செல்லும்போது வாகனத்தின் திசைவேகம் v எனில், தேவைப்படும் மையநோக்கு விசை = $\frac{mv^2}{r}$.

இவ்விசையை, உராய்வு விசையால் மட்டுமே ஏற்படுத்த முடியும்.

$$\therefore \quad \frac{mv^2}{r} \le (F_1 + F_2)$$

$$\le (\mu\ R_1 + \mu R_2)$$

$$\le \mu\ (R_1 + R_2)$$

$$\therefore \quad \frac{mv^2}{r} \le \mu\ mg \quad (\because R_1 + R_2 = mg)$$

$$v^2 \le \mu\ rg$$

$$v \le \sqrt{\mu rg}$$

எனவே, வாகனம் ஒன்று சரிசமமான வளைவுப் பாதையில் நழுவி விழாமல் செல்லக் கூடிய பெருமத் திசைவேகம் $v = \sqrt{\mu rg}$. v-ன் மதிப்பு, வளைவு ஆரம் r மற்றும் டயர்களுக்கும் சாலைக்கும் இடைப்பட்ட உராய்வுக் குணகம் μ ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது.

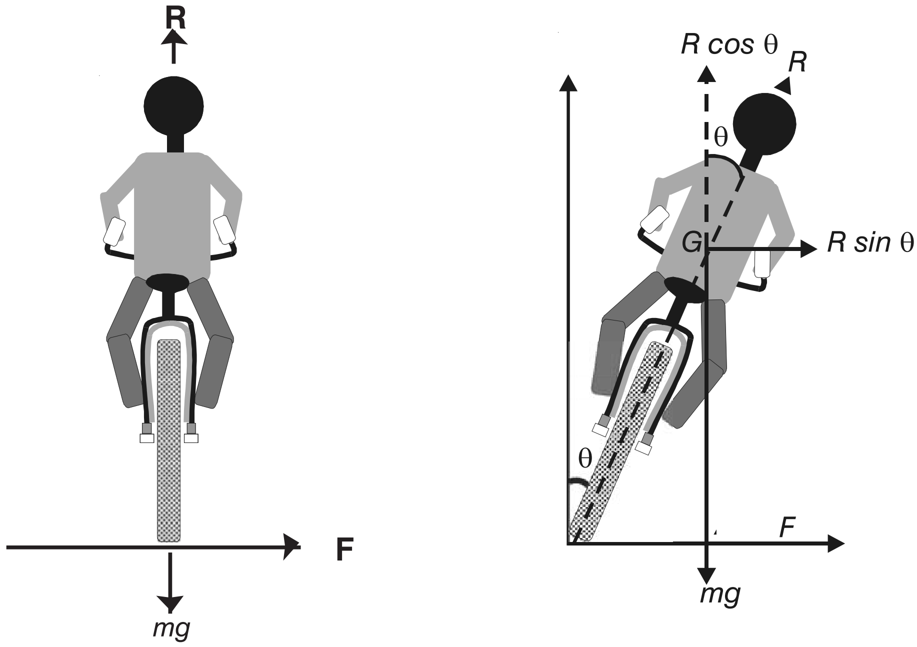
(iii) வளைவுச் சாலைகள் மற்றும் பாதைகளின் வெளிப்புறம் உயர்த்தப் பட்டிருத்தல்

கார் (car) ஒன்று சரிசமமான வளைவில் செல்லும்போது, சாலைக்கும் டயர்களுக்கும் இடையேயான உராய்வு விசை தேவையான மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்துகிறது. வாகனம் வளைவுப் பாதையில் செல்ல உதவும் மையநோக்கு விசையைத் தரும் உராய்வு விசை போதுமானதாக இல்லையெனில், கார் வழுக்கி விழுந்து விடும். வழுக்குவதைத் தவிர்க்க, சாலையின் உட்புற விளிம்பைவிட வெளிப்புற விளிம்பு உயர்த்தப்பட்டிருக்கும். இதனையே வளைவுச் சாலைகள் மற்றும் பாதைகளின் வெளிப்புறம் உயர்த்தப்படுதல் என்கிறோம்.

வளைவுப் பாதையில் மிதிவண்டி ஓட்டி (cyclist) வளைதல்

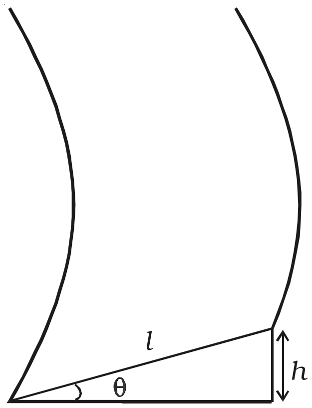
வட்டப்பாதையில் செல்லும் மிதிவண்டி ஓட்டி, நழுவி விழாமல் பாதுகாப்பாகச் செல்ல, வட்டப்பாதையின் மையத்தை நோக்கி சிறிதளவு வளைய வேண்டும்.

மிதிவண்டி ஓட்டுபவர், அவருக்கு வலப்பக்கமாகத் திரும்பும் r ஆரமுள்ள வட்டப்பாதையில் செல்வதை படம் 2.43 காட்டுகிறது. மிதிவண்டியுடன் சேர்த்து அவரின் நிறையை m எனவும், திசைவேகத்தை v எனவும் கொள்க. மிதிவண்டி ஓட்டி வளைவில் செல்லும்போது, செங்குத்துத் திசையிலிருந்து உட்புறம் நோக்கி θ கோணம்



படம் 2.43 வளைவுப் பாதையில் மிதிவண்டி ஓட்டி வளைதல்

வளைகிறார். மிதிவண்டி ஓட்டியின் மீது, தரை ஏற்படுத்தும் எதிர்ச்செயலை R என்க. இந்த எதிர்ச்செயலை இரு கூறுகளாகப் பகுக்கலாம். **(i)** வட்ட இயக்கத்திற்குத் தேவையான மையநோக்கு விசையை ஏற்படுத்தும், வளைவின் மையத்தை நோக்கிய $R \sin \theta$ என்ற கூறு, மற்றும் **(ii)** மிதிவண்டியுடன் ஓட்டுபவரின் எடையை சமன் செய்யும் $R \cos \theta$ என்ற கூறு,



படம் 2.44 வெளிவிளிம்பு உயர்த்தப்பட்ட சாலை

அதாவது, $$R \sin \theta = \frac{mv^2}{r} \qquad ...(1)$$

மற்றும் $$R \cos \theta = mg \qquad ...(2)$$

சமன்பாடு (1)-ஐ (2)-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{R \sin \theta}{R \cos \theta} = \frac{\frac{mv^2}{r}}{mg}$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{rg} \qquad ...(3)$$

மிதிவண்டி ஓட்டி குறைவாக வளைவதற்கு (அதாவது θ சிறியதாக இருக்க), திசைவேகம் குறைவாகவும் ஆரம் r அதிகமாகவும் இருக்க வேண்டும்.

வெளிப்புறம் உயர்த்தப்பட்ட சாலையில் (படம் 2.44) உள் விளிம்பைவிட வெளிவிளிம்பின் உயரம் h எனவும் சாலையின் அகலம் l எனவும் இருப்பின்

$$\sin\theta = \frac{h}{l} \qquad \ldots(4)$$

θ-வின் சிறிய மதிப்புகளுக்கு, $\sin\theta = \tan\theta$ சமன்பாடுகள் (3) மற்றும் (4)-லிருந்து

$$\tan\theta = \frac{h}{l} = \frac{v^2}{rg} \qquad \ldots(5)$$

வாகனத்தின் குறிப்பிட்ட திசைவேகத்திற்கு மட்டுமே சாலை அல்லது பாதையின் வெளிவிளிம்பு உயர்த்தப்பட்டிருக்கும். எனவே, வளைவுப் பாதையில் செல்லும்போது, ஓட்டுநர் வாகனத்தை அந்தக் குறிப்பிட்ட வேகத்தில் மட்டுமே ஓட்ட வேண்டும். வாகனத்தின் வேகம், குறிப்பிட்ட மதிப்பை விட அதிகமாக இருப்பின், வாகனம் வளைவுப் பாதையின் வெளிப்புறமாக நழுவி விழ முற்படும். ஆனால், உராய்வு விசை உட்புறமாகச் செயல்பட்டு, தேவையான கூடுதல் மையநோக்குவிசையை ஏற்படுத்தும். இதுபோன்றே, வாகனத்தின் வேகம், குறிப்பிட்ட மதிப்பைவிடக் குறைவாக இருப்பின், வாகனம் வளைவுப் பாதையின் உட்புறமாக நழுவி விழ முற்படும். ஆனால், உராய்வு விசை வெளிப்புறமாகச் செயல்பட்டு, மைய நோக்கு விசையை குறைக்கும்.

நழுவுதலுக்கான நியதி

உராய்வு விசையைவிட மையநோக்கு விசை அதிகமாக இருப்பின் நழுவுதல் ஏற்படும். சாலைக்கும் டயருக்கும் **(Tyre)** இடையிலான உராய்வுக் குணகம் μ எனில், எல்லை உராய்வு (உராய்வு விசை),

$$f = \mu R$$

இங்கு R என்பது செங்குத்து எதிர்ச்செயல் = mg

$$\therefore f = \mu\,(mg)$$

எனவே, நழுவ வேண்டுமெனில்,

மையநோக்கு விசை > உராய்வு விசை

$$\frac{mv^2}{r} > \mu\,(mg)$$

$$\frac{v^2}{rg} > \mu$$

ஆனால், $\frac{v^2}{rg} = \tan\theta$

$$\therefore \tan\theta > \mu$$

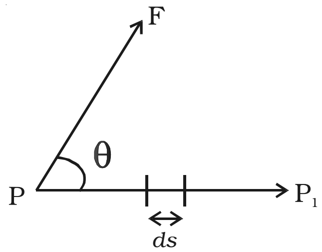
அதாவது, வெளிவிளிம்பு உயர்த்தப்பட்டதால் ஏற்பட்ட கோணத்தின் டேஞ்சன்ட் மதிப்பு, உராய்வுக் குணகத்தை விட அதிகமெனில், நழுவுதல் நடைபெறும்.

2.7 வேலை

வேலை மற்றும் ஆற்றல் என்ற இரு சொற்களும் நாம் நன்கு அறிந்தவையே. அன்றாட வாழ்வில் எந்தவொரு வேலையையும் செய்ய, மூளைத்திறன் அல்லது தசைநார் திறன்கள் தேவைப்படுகின்றன. விசை செயல்படும் புள்ளியானது, விசையின் திசையில் அல்லது விசைக்கு எதிர்த்திசையில் நகர்ந்தால், அவ்விசை அல்லது அவ்விசையை எதிர்த்து வேலை செய்யப்பட்டது என இயற்பியலில் கூறப்படும். இடப்பெயர்ச்சி நிகழவில்லையெனில் வேலை செய்யப்படவில்லை. எனவே, வேலை செய்யப்பட, இன்றியமையாத இரு நியதிகள்;

(i) விசை செயல்பட வேண்டும்.

(ii) விசையானது, இயக்கத்தை அல்லது இடப்பெயர்ச்சியை ஏற்படுத்த வேண்டும்.



படம் 2.45 விசை செய்யும் வேலை

துகள் ஒன்றின் மீது செயல்படுத்தப்படும் விசை F மற்றும் துகள் அடைந்த மிகச்சிறிய இடப்பெயர்ச்சி ds எனில், விசை செய்த வேலை $dw = \vec{F} \cdot \vec{ds}$.

இந்தப் புள்ளிப் பெருக்கலின் எண் மதிப்பு $(F \cos\theta)\, ds$ ஆகும். அதாவது, $dw = F\, ds \cos\theta = (F \cos\theta)\, ds$. இங்கு θ என்பது $\vec{F}$-க்கும் $\vec{ds}$-க்கும் இடைப்பட்ட கோணம் ஆகும். (படம் 2.45)

எனவே, மிகச்சிறிய இடப்பெயர்ச்சியின் போது, விசை செய்த வேலை என்பது, இடப்பெயர்ச்சி ds மற்றும் இடப்பெயர்ச்சியின் திசையில் விசையின் கூறு $F \cos\theta$-ன் பெருக்கற் பலனுக்குச் சமம்.

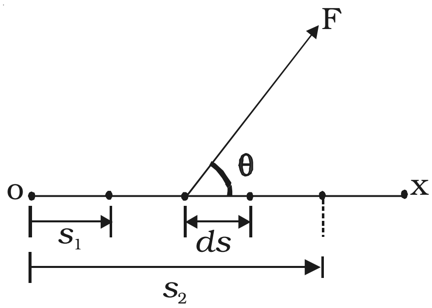
வேலை என்பது எண்மதிப்பு மட்டும் உடைய ஒரு ஸ்கேலர் அளவாகும்.

பொருள் P என்ற நிலையிலிருந்து P_1க்கு இடம் பெயரும்போது விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலையை மேற்காண் சமன்பாட்டைத் தொகை காண்பதன் மூலம் பெறலாம்.

$$W = \int dw = \int (F \cos\theta)\, ds$$

மாறாத விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை

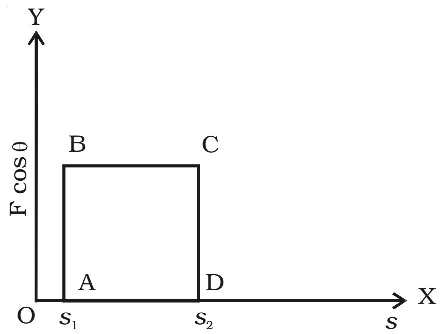
படம் 2.46-ல் காட்டியவாறு, பொருளின் மீது மாறாத எண்மதிப்புடைய விசையானது நேர்க்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து θ கோணத்தில் செயல்பட்டால்



படம் 2.46 மாறாத விசை செய்த வேலை

$$W = F \cos\theta \int_{s_1}^{s_2} ds = F \cos\theta (s_2 - s_1)$$

மாறாத விசை ஒன்று செய்த வேலை, படம் 2.47-ல் வரைபட முறையில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

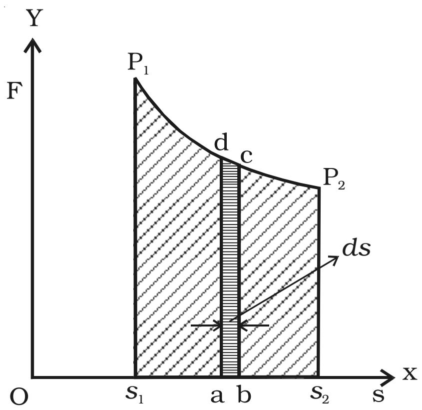


படம் 2.47 வரைபடத்தில் மாறாத விசை செய்த வேலை

$$W = F \cos\theta\, (s_2 - s_1) = \text{பரப்பு } ABCD$$

மாறும் விசையால் செய்யப்பட்ட வேலை

பொருளொன்று, மாறுபடக்கூடிய விசையின் செயல்பாட்டினால் இடம் பெயர்ந்தால், படம் 2.48-ல் காட்டியவாறு, செய்யப்பட்ட வேலை,



படம் 2.48 மாறுபடும் விசை செய்த வேலை

$dw = F\cos\theta,\ ds$ = abcd என்ற சிறுபகுதியின் பரப்பு

∴ பொருள், S_1-லிருந்து S_2-க்கு நகரும்போது செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$\Sigma\, dw = W = P_1 P_2$ வளைகோட்டின் கீழ் உள்ள பரப்பு = பரப்பு $S_1 P_1 P_2 S_2$

வேலையின் அலகு ஜூல் ***(joule).*** *1 நியூட்டன் விசை செயல்பட்டு, விசையின் திசையில், விசை செயல்படும் புள்ளி 1 மீட்டர் நகர்ந்தால் விசை செய்த வேலை 1 ஜூல் ஆகும்.*

சிறப்பு நேர்வுகள்

(i) விசை F செயல்படும் திசையில் இடப்பெயர்ச்சி s ஏற்பட்டால், $\theta = 0^o$

$\therefore$ வேலை, $W = F\ s \cos 0 = F\ s$

(ii) இயக்கத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தாக விசை செயல்படுவதாகக் கருதினால், $\theta = 90^o$

$\therefore$ வேலை, $W = F\ s \cos 90° = 0$

எடுத்துக்காட்டாக, உராய்வற்ற கிடைப் பரப்பில் பொருள் இயங்கும்போது, அதன் எடையும் பரப்பின் எதிர்ச்செயலும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருப்பதால், வேலை செய்யப்படாது. இது போன்றே, நூல் ஒன்றினால் கட்டப்பட்ட கல்லை, வட்டப்பாதையில் சீரான வேகத்தில் சுற்றிவரச் செய்யும்போது கல்லின் இயக்கத்திசையை மையநோக்கு விசை தொடர்ந்து மாற்றுகிறது. இந்த விசை பொருளின் இயக்கத் திசைக்கு எப்பொழுதும் செங்குத்தாக இருப்பதால் இவ்விசை வேலை செய்வதில்லை.

(iii) இடப்பெயர்ச்சியின் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் விசை F செயல்பட்டால், $\theta = 180°$

$\therefore$ வேலை, $(W) = F\ s \cos 180° = -F\ s$

எடுத்துக்காட்டு : பரப்பின் மீது நழுவும் பொருளின் வேகத்தை உராய்வு விசை குறைப்பதால், இவ்விசை எதிர் (எதிர்க்குறி) வேலை செய்கிறது.

விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலையை நேர்வேலை (positive work) எனவும் விசைக்கு எதிராகச் செய்யப்பட்ட வேலையை எதிர்வேலை (negative work) எனவும் வரையறை செய்யலாம்.

2.8 ஆற்றல்

வேலை செய்யும் திறமையை (capacity) ஆற்றல் என வரையறுக்க முடியும். இயந்திர ஆற்றல், வெப்ப ஆற்றல், மின்னாற்றல், வேதி ஆற்றல், ஒளி ஆற்றல், அணுக்கரு ஆற்றல் என ஆற்றல் பல வகைகளாக உள்ளது.

பொருளின் நிலையினால் அல்லது இயக்கத்தினால் அது பெற்றுள்ள ஆற்றல் இயந்திர ஆற்றல் எனப்படும்.

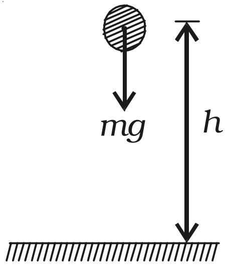
பொருளின் இயந்திர ஆற்றல், நிலை ஆற்றல் மற்றும் இயக்க ஆற்றல் என இரு வகைப்படும்.

2.8.1 நிலை ஆற்றல்

பொருளின் நிலையைப் பொருத்து அல்லது திரிபுத் தன்மையைப் பொருத்து, அதனுள் சேமிக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல் நிலையாற்றல் எனப்படும். தேக்கி வைக்கப்பட்டுள்ள நீர், சுற்றப்பட்டுள்ள கம்பிச் சுருள், அமுக்கப்பட்டுள்ள காற்று, இழுக்கப்பட்ட இரப்பர் துண்டு போன்றவை நிலையாற்றலைப் பெற்றுள்ளன.

பொருளொன்று ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொரு நிலைக்கு நகரும்போது, பொருளின் மீது விசை செய்யும் வேலையின் அளவு நிலையாற்றலாகக் கணக்கிடப்படுகிறது.

நிலையாற்றலின் சமன்பாடு



படம் 2.49 நிலை ஆற்றல்

படம் 2.49-ல் காட்டியவாறு, m நிறையுள்ள பொருள், தரையிலிருந்து h உயரத்தில் ஓய்வு நிலையில் இருப்பதாகக் கருதுவோம்.

தரையிலிருந்து பொருளை, h உயரத்திற்கு உயர்த்தும்போது செய்யப்படும் வேலை பொருளினுள் நிலையாற்றலாக சேமிக்கப்பட்டுள்ளது.

பொருள், தரையில் விழும்போது அதே அளவு வேலையை மீண்டும் பெற முடியும். பொருளை செங்குத்தாக உயர்த்த, அதன் எடைக்குச் சமமான mg என்ற விசையை செயல்படுத்த வேண்டும்.

பொருள், h உயரத்திற்குச் செங்குத்தாக உயர்த்தப்படும்போது, செய்யப்பட்ட வேலை, W = விசை × இடப்பெயர்ச்சி

$$\therefore\ W = mg \times h$$

இந்த வேலை, பொருளினுள் நிலையாற்றலாக சேமித்து வைக்கப்பட்டுள்ளது.

$$\therefore\ E_P = mgh$$

2.8.2 இயக்க ஆற்றல்

பொருளின் இயக்கத்தைப் பொருத்து, அது பெற்றுள்ள ஆற்றல் இயக்க ஆற்றல் ஆகும். பொருளொன்று ஓய்வுநிலைக்கு வருமுன், செயல்படும் விசைகளுக்கு எதிராக, அது செய்யக்கூடிய வேலையின் அளவாக இயக்க ஆற்றல் அளவிடப்படுகிறது. கீழே விழும் பொருள், துப்பாக்கியிலிருந்து வெளியேறும் குண்டு, அலைவுறும் ஊசல் போன்றவை இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன.

நகரும் பொருள், வேலையைச் செய்யக்கூடியதாகும். ஆனால், வேலையைச் செய்யும் போது, பொருளின் திசைவேகம் குறையும். செய்யக்கூடிய வேலையின் அளவு,

திசைவேகத்தின் எண் மதிப்பு மற்றும் பொருளின் நிறை என்ற இரண்டையும் சார்ந்தது. சம திசைவேகத்தில் செல்லும் ஒரே அளவுடைய இரு துப்பாக்கிக் குண்டுகளில், லேசான குண்டைவிட கனமான குண்டு மரக்கட்டையில் ஆழமாகத் துளைத்துச் செல்லும்.

இயக்க ஆற்றலின் சமன்பாடு

படம் 2.50-ல் காட்டியவாறு, m நிறையுள்ள பொருள், v திசைவேகத்துடன் நேர்க்கோட்டில் இயங்குவதாகக் கருதுவோம். அதன் இயக்கத்தைத் தடுத்து நிறுத்தும் வகையில், சீரான விசை F செயல்பட்டு எதிர் முடுக்கத்தை ஏற்படுத்துவதாகக் கொள்வோம். (முடுக்கம் குறைவதை எதிர்முடுக்கம் என்கிறோம்)

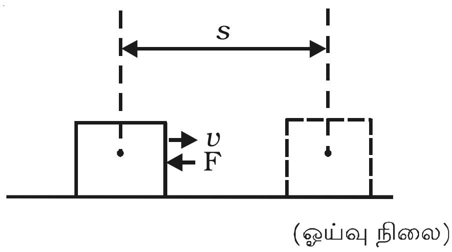
F = நிறை × எதிர்முடுக்கம் = $-ma$ ...(1)

பொருள், ஓய்வு நிலைக்கு வருமுன், அடைந்த இடப்பெயர்ச்சி dx என்க.

எதிர்முடுக்கம்,

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx}\cdot\frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx}\cdot v \quad ...(2)$$

இங்கு, $\frac{dx}{dt} = v$, பொருளின் திசைவேகம்.



*படம் 2.50 **இயக்க ஆற்றல்***

சமன்பாடு (2)-ஐச் சமன்பாடு (1)-ல் பிரதியிட

$$F = -mv\frac{dv}{dx} \quad ...(3)$$

எனவே, பொருளை ஓய்வு நிலைக்குக் கொண்டுவர செய்யப்படும் வேலை,

$$W = \int F.dx = -\int_v^0 mv.\frac{dv}{dx}.dx = -m\int_v^0 v dv \quad ...(4)$$

$$W = -m\left[\frac{v^2}{2}\right]_v^0 = \frac{1}{2}mv^2$$

இந்த வேலை, பொருளின் இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமம் ஆகும்.

∴ இயக்க ஆற்றல், $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

2.8.3 வேலை மற்றும் ஆற்றல் தத்துவம் (வேலை - ஆற்றல் தேற்றம்)

கூற்று

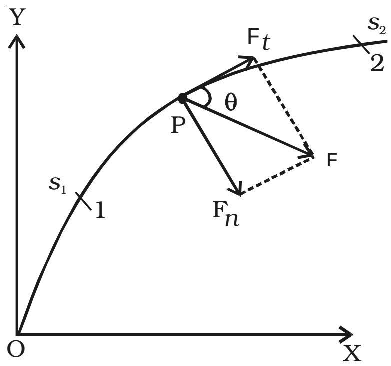
பொருளொன்றின் இடப்பெயர்ச்சியின் போது, செயல்படும் விசையினால் செய்யப்படும் வேலையானது, அந்த இடப்பெயர்ச்சியின் போது ஏற்படும் இயக்க ஆற்றலின் மாறுபாட்டிற்குச் சமம்.

மெய்ப்பித்தல்

படம் 2.51-ல் காட்டியவாறு, F என்ற விசை செயல்பட்டு, m நிறையுள்ள பொருளொன்று, ஒரு பாதையின் வழியாக v திசைவேகத்தில் இயங்குவதாகக் கருதுவோம். ஆதிப்புள்ளி O-வில் இருந்து, ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் பொருளின் நிலை P எனக் கருதுக.

P-யில் வரையப்பட்ட தொடுகோட்டுடன் விசையின் திசை ஏற்படுத்தும் கோணம் θ ஆகும்.

விசை F-ஐ இரு செவ்வகக் கூறுகளாகப் பகுக்கலாம்.



படம் 2.51 வேலை - ஆற்றல் தேற்றம்

(i) $F_t = F \cos\theta$ (தொடுகோட்டில்) மற்றும்

(ii) $F_n = F \sin\theta$ (P-யில் செங்குத்தாக)

ஆனால், $F_t = ma_t$ ...(1)

a_t என்பது தொடுகோட்டின் திசையில் பொருளின் முடுக்கம்

$$\therefore \quad F\cos\theta = ma_t \qquad ...(2)$$

ஆனால் $a_t = \dfrac{dv}{dt}$ ...(3)

சமன்பாடு (3)-னை சமன்பாடு (2)-ல் பிரதியிட,

$$F\cos\theta = m\frac{dv}{dt} = m\frac{dv}{ds}\cdot\frac{ds}{dt} \qquad ...(4)$$

$$F\cos\theta\ ds = mv\ dv \qquad ...(5)$$

இதில் ds என்பது சிறிய இடப்பெயர்ச்சி ஆகும்.

நிலைகள் 1 மற்றும் 2-ல், பொருளின் திசைவேகங்கள் v_1 மற்றும் v_2 எனவும், தொடர்புடைய தொலைவுகள் S_1 மற்றும் S_2 எனவும் கருதுக.

சமன்பாடு (5)-ஐ தொகை செய்யவும்.

$$\int_{s_1}^{s_2} (F \cos\theta)\, ds = \int_{v_1}^{v_2} mv\, dv \quad \text{... (6)}$$

ஆனால் $$\int_{s_1}^{s_2} (F \cos\theta)\, ds = W_{1\rightarrow 2} \quad \text{...(7)}$$

இதில், $W_{1\rightarrow 2}$ என்பது விசை செய்த வேலை.

சமன்பாடுகள் (6) மற்றும் (7)-லிருந்து

$$W_{1\rightarrow 2} = \int_{v_1}^{v_2} mv\, dv$$

$$= m \left[\frac{v^2}{2}\right]_{v_1}^{v_2} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad \text{... (8)}$$

எனவே, வேலை = இறுதி இயக்க ஆற்றல் – தொடக்க இயக்க ஆற்றல்

வேலை = இயக்க ஆற்றலின் மாறுபாடு

2.8.4 மாற்றமடையாத விசைகளும் மாற்றமடையும் விசைகளும்

*மாற்றமடையாத விசைகள் **(conservative forces)***

இரு நிலைகளுக்கிடையே, பொருளொன்றை நகர்த்தும் விசை செய்யும் வேலை, பொருள் மேற்கொள்ளும் பாதையைச் சார்ந்திருக்காது எனில், அவ்விசையை மாற்றமடையாத விசை எனலாம்.

எடுத்துக்காட்டுகள் : ஈர்ப்பியல் விசை, சுருள்வில் விசை மற்றும் மீட்சி விசை.

மாற்றமடையாத விசைகள் செய்யும் வேலையானது, பொருளின் தொடக்க மற்றும் இறுதி நிலைகளை மட்டுமே சார்ந்தது.

அதாவது, $\oint \vec{F} \cdot \vec{dr} = 0$

மூடிய பாதை வழியாக மாற்றமடையாத விசை செய்யும் வேலை சுழியாகும்.

மாற்றமடையும் விசைகள் (Nonconservative forces)

மூடியபாதை எப்படியிருப்பினும் (arbitrary) விசையின் செயல்படும் புள்ளியில், சிறிது தொகுபயன் வேலையை செய்யக்கூடிய விசையை மாற்றமடையும் விசை என்கிறோம்.

மாற்றமடையும் விசை செய்யும் வேலையானது பொருளின் இடப்பெயர்ச்சியின் பாதையைச் சார்ந்திருக்கும்.

அதாவது, $\oint \vec{F} \cdot \vec{dr} \neq 0$.

எடுத்துக்காட்டுகள் : உராய்வு விசை, பாகியல் விசை.

2.8.5 ஆற்றல் அழிவின்மை விதி

மாற்றமடையா விசைகளின் தொகுதி காரணமாக, பொருள் அல்லது பொருள்களின் தொகுதி ஒன்று இயங்கும் போது, இயக்க ஆற்றல் மற்றும் நிலை ஆற்றலின் கூடுதல் ஒரு மாறிலி என்பது ஆற்றல் அழிவின்மை விதியாகும்.

விளக்கம்

வேலை மற்றும் ஆற்றல் தத்துவத்தின்படி,

வேலை = இயக்க ஆற்றலின் மாறுபாடு

அதாவது, $W_{1\rightarrow 2} = E_{k2} - E_{k1}$ ...(1)

மாற்றமடையாத விசையினால் பொருள் நகர்ந்தால், செய்யப்படும் வேலை நிலை ஆற்றலாக சேமிக்கப்பட்டிருக்கும்.

$$W_{1\rightarrow 2} = -(E_{P2} - E_{P1}) \qquad ...(2)$$

செய்யப்படும் வேலை, நிலை ஆற்றலின் எதிர்குறி மாற்றத்திற்குச் சமம்.

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2)-லிருந்து

$$E_{k2} - E_{k1} = -(E_{P2} - E_{P1})$$

$$E_{P1} + E_{k1} = E_{P2} + E_{k2} \qquad (3)$$

அதாவது, மாற்றமடையா விசைகளினால் துகள்களின் தொகுதி ஒன்று இயங்கும்போது, நிலை ஆற்றல் மற்றும் இயக்க ஆற்றலின் கூடுதல் மாறாமல் இருக்கிறது.

2.8.6 *திறன் (power)*

வேலை செய்யப்படும் வீதம் என திறன் வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$\text{திறன்} = \frac{\text{வேலை}}{\text{காலம்}}$$

இதன் அலகு வாட் (watt) மற்றும் பரிமாண வாய்ப்பாடு ML^2T^{-3}.

1 நொடியில், 1 ஜூல் வேலை செய்யப்படுவதாகக் கூறப்பட்டால், திறன் என்பது 1 வாட் ஆகும்.

dt கால இடைவெளியில் செய்த வேலை dw எனில்,

$$\text{திறன்} = \frac{dw}{dt} \qquad ...(1)$$

ஆனால் $dw = (F \cos\theta)\ ds \qquad ...(2)$

இதில் θ என்பது விசையின் திசைக்கும் இடப்பெயர்ச்சிக்கும் இடைப்பட்ட கோணமாகும். $F \cos\theta$ என்பது சிறிய இடப்பெயர்ச்சியான ds-ன் திசையில் விசையின் கூறு ஆகும்.

சமன்பாடு (2)ஐ சமன்பாடு (1)ல் பிரதியிட

$$\text{திறன்} = \frac{(F\cos\theta)\,ds}{dt} = (F\cos\theta)\frac{ds}{dt} = (F\cos\theta)\,v$$

$$\left(\because \frac{ds}{dt} = v\right)$$

$\therefore$ திறன் $= (F\cos\theta)\ v$

F ம், v-யும் ஒரே திசையில் இருந்தால்,

திறன் $= F\,v\cos 0 = F\,v$

= விசை × திசைவேகம்

திறனை புள்ளிப் பெருக்கலாலும் குறிப்பிடலாம்.

அதாவது $P = \vec{F}\cdot\vec{v}$

2.9 மோதல்கள்

இரு பொருள்கள் ஒன்றையொன்று உரசுவது அல்லது ஒன்றின் இயக்கப் பாதையை மற்றொன்று மாற்றுவது மோதல் எனப்படும். இயற்பியலில், மோதல் என்பது பொருள்கள் ஒன்றையொன்று உரச (strike) வேண்டும் என்ற அவசியம் இல்லை. ஒன்றையொன்று தொடாமல், ஒன்றின் இயக்கத்தை மற்றொன்று மாற்றுவதும் மோதலே ஆகும்.

இரு பொருள்கள் மோதும்போது, ஒவ்வொரு பொருளும் மற்றொரு பொருளின் மீது விசையைச் செயல்படுத்துகிறது. இரு விசைகளும், சமமான ஆனால் சிறிய கால இடைவெளியில் ஒரே நேரத்தில் செயல்படுகின்றன. நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்கவிதிப்படி, ஒவ்வொரு பொருளும் மற்றொன்றின்மீது சம, எதிர்விசையை ஒவ்வொரு மோதலின்போதும் ஏற்படுத்துகிறது. மோதலின் போது ஆற்றல் அழிவின்மை விதி மற்றும் உந்த அழிவின்மை விதி என்ற இரு அடிப்படை அழிவின்மை விதிகள் உட்படுகின்றன. இவ்விதிகளைப் பயன்படுத்தி, மோதலுக்குப் பிறகு இரு பொருள்களின் திசைவேகங்களைக் கணக்கிடலாம்.

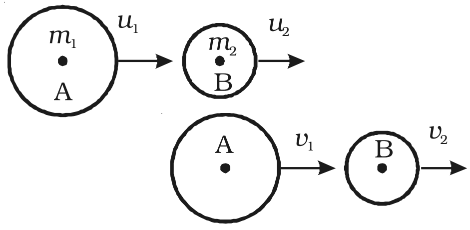
மோதல்கள் **(i)** மீட்சி மோதல் மற்றும் **(ii)** மீட்சியற்ற மோதல் என இரு வகைப்படும்.

2.9.1 மீட்சி மோதல்

மோதலின் போது, அமைப்பின் இயக்க ஆற்றல் மாறாமல் இருப்பின், அம்மோதல் மீட்சி மோதல் எனப்படும். அதாவது, மோதலுக்கு முன்பும் மோதலுக்குப் பின்பும் மொத்த இயக்க ஆற்றல் மாற்றமடையாமல் இருக்கும். அணுக்கருத் துகளுக்கிடையேயான மோதல் பொதுவாக, மீட்சி மோதலாகும். இரு எஃகு அல்லது கண்ணாடிப் பந்துகளுக்கிடையேயான மோதல் ஏறத்தாழ மீட்சி மோதலாகும். மீட்சி மோதலில் அமைப்பின் நேர்க்கோட்டு உந்தமும் இயக்க ஆற்றலும் மாற்றமடையாது.

ஒரு பரிமாண மீட்சி மோதல்

இரு பொருள்களும் மோதலுக்குப் பிறகு நேர்க்கோட்டில் இயங்கினால், அம்மோதல் ஒரு பரிமாண மோதலாகும்.



படம் 2.52 ஒரு பரிமாண மீட்சி மோதல்

m_1 மற்றும் m_2 என்ற நிறைகள் உடைய A மற்றும் B என்ற இரு பொருள்கள், ஒரே நேர்க்கோட்டில், ஒரே திசையில் முறையே u_1 மற்றும் u_2 என்ற திசைவேகங்களுடன் இயங்குவதாகக் கருதுக. (படம் 2.52) u_2-ஐ விட u_1 அதிகம் என இருக்கட்டும். பொருள்கள் A மற்றும் B, நேர் மீட்சி மோதலுக்கு உட்பட்டு, தொடர்ந்து அதே நேர்க்கோட்டில் v_1 மற்றும் v_2 என்ற திசைவேகங்களுடன் இயங்குகின்றன.

நேர்க்கோட்டு உந்த அழிவின்மை விதிப்படி,

மோதலுக்கு முன் மொத்த உந்தம் = மோதலுக்குப் பின் மொத்த உந்தம்

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2 \qquad ...(1)$$

மோதலின் போது பொருள்களின் இயக்க ஆற்றலும் மாறாது. எனவே,

மோதலுக்குமுன் மொத்த இயக்க ஆற்றல் = மோதலுக்குப்பின் மொத்த இயக்க ஆற்றல்.

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \quad ...(2)$$

$$m_1u_1^2 - m_1v_1^2 = m_2v_2^2 - m_2u_2^2 \quad ...(3)$$

சமன்பாடு (1)-ல் இருந்து,

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(v_2 - u_2) \quad ...(4)$$

சமன்பாடு (3)-ஐ (4)-ல் வகுக்க,

$$\frac{u_1^2 - v_1^2}{u_1 - v_1} = \frac{v_2^2 - u_2^2}{v_2 - u_2}$$

$$u_1 + v_1 = u_2 + v_2$$

$$(u_1 - u_2) = (v_2 - v_1) \quad ...(5)$$

ஒரு பரிமாண மீட்சிமோதலில், மோதலுக்கு முன் இரு பொருள்களும் ஒன்றையொன்று நெருங்கி இயங்கும் சார்புத் திசைவேகமானது மோதலுக்குப் பின் ஒன்றையொன்று விட்டு விலகி இயங்கும் சார்புத் திசைவேகத்திற்குச் சமம்.

சமன்பாடு (5)-லிருந்து

$$v_2 = u_1 - u_2 + v_1 \quad ...(6)$$

v_2 – ன் மதிப்பைச், சமன்பாடு (4)-ல் பிரதியிட,

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(v_1 - u_2 + u_1 - u_2)$$

$$m_1u_1 - m_1v_1 = m_2u_1 - 2m_2u_2 + m_2v_1$$

$$(m_1 + m_2)v_1 = m_1u_1 - m_2u_1 + 2m_2u_2$$

$$(m_1 + m_2)v_1 = u_1(m_1 - m_2) + 2m_2u_2$$

$$v_1 = u_1\left[\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right] + \frac{2m_2u_2}{(m_1 + m_2)} \quad ...(7)$$

இதே போன்று,

$$v_2 = \frac{2m_1u_1}{(m_1 + m_2)} + \frac{u_2(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} \quad ...(8)$$

சிறப்பு நேர்வுகள்

நேர்வு (i) : மோதலுறும் பொருள்களின் நிறைகள் சமம் எனில், அதாவது $m_1 = m_2$ எனில்

$$v_1 = u_2 \text{ மற்றும் } v_2 = u_1 \quad \text{...(9)}$$

நேர்மீட்சி மோதலுக்குப் பிறகு, இரு பொருள்களின் திசைவேகங்கள் பரிமாற்றிக் கொள்ளப்படுகின்றன.

நேர்வு (ii) : பொருள் B, தொடக்கத்தில் ஓய்வு நிலையில் இருப்பின், $u_2 = 0$ எனில்

$$v_1 = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} u_1 \quad \text{...(10)}$$

$$\text{மற்றும் } v_2 = \frac{2\ m_1}{(m_1 + m_2)} u_1 \quad \text{...(11)}$$

2.9.2 மீட்சியற்ற மோதல்

இரு பொருள்களுக்கிடையே ஏற்படும் மோதலின் போது, இயக்க ஆற்றலில் இழப்பு ஏற்பட்டால், அம்மோதலை மீட்சியற்ற மோதல் என்கிறோம். எந்தவொரு மோதலிலும், எப்போதும் இயக்க ஆற்றலில் சிறிது இழப்பு ஏற்படுவதால் பெரும்பான்மையான மோதல்கள் மீட்சியற்றவையே ஆகும். மீட்சியற்ற மோதலில் நேர்க்கோட்டு உந்தம் மாறாது. ஆனால் ஆற்றல் மாறும். மோதலுக்குப் பிறகு இரு பொருள்களும் ஒட்டிக்கொண்டால், இது முழு மீட்சியற்ற மோதலாகும். ஆனால், இதனை மீட்சியற்ற மோதலில் ஒரு சிறப்பு நிகழ்வாக பிளாஸ்டிக் மோதல் என கருதப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, துப்பாக்கிக் குண்டு மரக்கட்டையில் மோதும்போது அதனுள் பொதிந்து விடுகிறது. இயக்க ஆற்றலில் ஏற்படும் இழப்பு, வெப்பம் அல்லது ஒலி ஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது.

m_A மற்றும் m_B என்ற நிறைகள் உடைய இரு பொருள்களுக்கிடையேயான மீட்சியற்ற நேர் மோதலைக் கருதுவோம். மோதலுறும் பொருள்கள், தொடக்கத்தில் u_A மற்றும் u_2 என்ற திசைவேகங்களுடன் இயங்குவதாகக் கருதுக. மோதலுக்குப் பின் இரு பொருள்களும் ஒட்டிக்கொண்டு v என்ற பொதுவான திசைவேகத்தில் இயங்குகின்றன.

மோதலுக்கு முன் அமைப்பின் மொத்த உந்தம் = $m_A u_A + m_B u_2$

மோதலுக்குப் பின் அமைப்பின் மொத்த உந்தம் = கூட்டுப் பொருளின் நிறை × பொதுவான திசைவேகம் = $(m_A + m_B)\ v$

உந்த அழிவின்மை விதிப்படி,

$$m_A u_A + m_B u_2 = (m_A + m_B)\ v$$

(அல்லது) $v = \dfrac{m_A u_A + m_B u_B}{m_A + m_B}$

ஆகவே, இரு பொருள்களின் நிறைகள் மற்றும் மோதலுக்கு முன் அவற்றின் திசைவேகங்களை அறிந்திருப்பின், மோதலுக்குப்பின் அமைப்பின் பொதுவான திசைவேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

இரண்டாவது பொருள், தொடக்கத்தில் ஓய்வு நிலையில் இருந்தால், அதாவது $u_2 = 0$.

$$v = \frac{m_A u_A}{(m_A + m_B)}$$

மோதலுக்கு முன் அமைப்பின் இயக்க ஆற்றல்,

$$E_{K1} = \frac{1}{2} m_A u_A^2 \quad [\because \; u_2 = 0]$$

மோதலுக்குப் பின் அமைப்பின் இயக்க ஆற்றல்,

$$E_{K2} = \frac{1}{2}(m_A + m_B)v^2$$

$$\therefore \qquad \frac{E_{K2}}{E_{K1}} = \frac{\text{மோதலுக்குப் பின் இயக்க ஆற்றல்}}{\text{மோதலுக்கு முன் இயக்க ஆற்றல்}}$$

$$= \frac{(m_A + m_B)v^2}{m_A u_A^2}$$

v-யின் மதிப்பை மேற்காண் சமன்பாட்டில் பிரதியிட,

$$\frac{E_{K2}}{E_{K1}} = \frac{m_A}{m_A + m_B}$$

$$\frac{E_{K2}}{E_{K1}} < 1$$

அதாவது, முழு மீட்சியற்ற மோதலில், மோதலுக்குப் பின் உள்ள இயக்க ஆற்றலானது, மோதலுக்கு முன் உள்ள இயக்க ஆற்றலைவிடக் குறைவு. இயக்க ஆற்றலில் ஏற்படும் இழப்பு, வெப்ப ஆற்றலாக மாறக்கூடும்.

தீர்க்கப்பட்ட கணக்குகள்

2.1 **72 kmph** வேகத்தில் சென்று கொண்டிருக்கும் கார் ஓட்டுனர், அவருக்கு முன்பாக **300 m** தொலைவில் உள்ள போக்குவரத்துச் சைகைக் காட்டியில் **(traffic signal)** சிவப்பு சைகையைப் பார்க்கிறார். அந்த சிவப்புச் சைகை **20 s** காலத்திற்கு மட்டுமே நீடித்து, பிறகு பச்சைச் சைகையாக மாறக்கூடியது. ஓட்டுநர், வாகனத்தை நிறுத்தி பச்சை சைகைக்காகக் காத்திருக்காமல் கடந்து செல்ல **(i)** காருக்குத் தேவைப்படும் சீரான முடுக்கத்தையும் **(ii)** போக்குவரத்துச் சைகைக் காட்டியை கடக்கும்போது அவரின் வேகத்தையும் கணக்கிடுக.

தகவல் : $u = 72 \text{ kmph} = 72 \times \frac{5}{18} \text{ m s}^{-1} = 20 \text{ m s}^{-1}$;

$S = 300 \text{ m}$; $t = 20 \text{ s}$

$a = ?$; $v = ?$

தீர்வு : i) $s = ut + \frac{1}{2} at^2$

$$300 = (20 \times 20) + \frac{1}{2} a (20)^2$$

$$a = -0.5 \text{ m s}^{-2}$$

ii) $v = u + at = 20 - 0.5 \times 20 = 10 \text{ m s}^{-1}$

2.2 **50 m** உயரமுள்ள கோபுரத்தின் உச்சியிலிருந்து கல் ஒன்று கீழே விடப்படுகிறது. அதே நேரத்தில் மற்றொரு கல், கோபுரத்தின் அடிப்பகுதியிலிருந்து மேல் நோக்கி **25 m s⁻¹** திசைவேகத்தில் வீசப்படுகிறது. உச்சியிலிருந்து, கீழே எந்தத் தொலைவில் மற்றும் எவ்வளவு காலத்தில் இரு கற்களும் ஒன்றையொன்று கடக்கும்?

தகவல் : *கோபுரத்தின் உயரம்* $= 50 \text{ m}$

$u_1 = 0$; $u_2 = 25 \text{ m s}^{-1}$

t என்ற குறுகிய காலத்தில் இரு கற்களும் கடந்த தொலைவு s_1 மற்றும் s_2 எனக் கருதுக.

எனவே, $s_1 + s_2 = 50 \text{m}$

$s_1 = ?$; $t = ?$

தீர்வு : *முதல் கல்லிற்கு* $s_1 = \frac{1}{2} g t^2$

இரண்டாம் கல்லிற்கு $s_2 = u_2 t - \frac{1}{2} g t^2$

$$s_2 = 25 t - \frac{1}{2} g t^2$$

எனவே, $s_1 + s_2 = 50 = \frac{1}{2} gt^2 + 25\,t - \frac{1}{2} gt^2$

$$t = 2 \text{ second}$$

$$s_1 = \frac{1}{2} gt^2 = \frac{1}{2} (9.8)\,(2)^2 = 19.6 \text{ m}$$

2.3 $3.6\ m$ உயரமுள்ள சுவரினை (wall) கடந்து செல்லும் வகையில் சிறுவன் ஒருவன் பந்தினை வீசுகிறான். சுவரிலிருந்து சிறுவன் இருக்கும் தொலைவு $4.8\ m.$ சுவரின் மறுபக்கத்தில் $3.6\ m$ தொலைவில், அந்தப் பந்து தரையில் விழுந்தால், வீசப்பட்ட பந்தின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : பந்தின் வீச்சு $= 4.8 + 3.6 = 8.4m$ சுவரின் உயரம் $= 3.6m$

$u = ?\ ;\ \ \theta = ?$

தீர்வு : எறியத்தின் பாதையின் மீது சுவரின் உச்சி AC இருந்திருக்கவேண்டும்.

எறியத்தின் சமன்பாடு $$y = x \tan\theta - \frac{gx^2}{2u^2 \cos^2\theta} \qquad ...(1)$$

C என்ற புள்ளி $(x = 4.8m,\ y = 3.6m\ )$ வீசுபாதையில் இருக்கிறது

அறிந்த மதிப்புகளை (1)ல் பிரதியிட

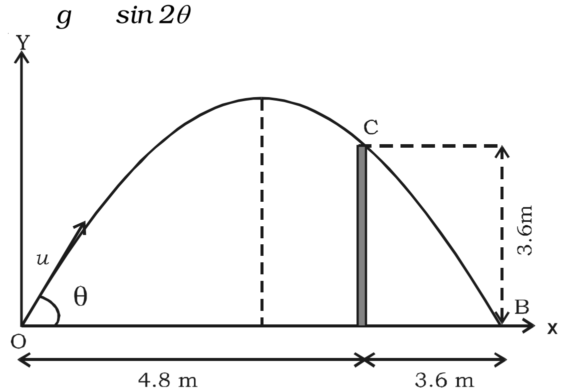
$$3.6 = 4.8 \tan\theta - \frac{g \times (4.8)^2}{2u^2 \cos^2\theta} \qquad ...(2)$$

எறியத்தின் வீச்சு

$$R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g} = 8.4 \qquad ...(3)$$

(3)-ல் இருந்து,

$$\frac{u^2}{g} = \frac{8.4}{\sin 2\theta} \qquad ...(4)$$



(4)-ஐ (2)-ல் பிரதியிட

$$3.6 = (4.8)\tan\theta - \frac{(4.8)^2}{2\cos^2\theta} \times \frac{\sin 2\theta}{(8.4)}$$

$$3.6 = (4.8)\tan\theta - \frac{(4.8)^2}{2\cos^2\theta} \times \frac{2\sin\theta\cos\theta}{(8.4)}$$

$$3.6 = (4.8)\tan\theta - (2.7429)\tan\theta$$

$$3.6 = (2.0571)\tan\theta$$

$$\tan\theta = \frac{3.6}{2.0571} = 1.7500$$

அல்லது

$$\theta = \tan^{-1}[1.75] = 60°15'$$

θ -ன் மதிப்பை (4)-ல் பிரதியிட

$$u^2 = \frac{8.4 \times g}{\sin 2\theta} = \frac{8.4 \times 9.8}{\sin 2(60°15')} = 95.5399$$

அல்லது $u = 9.7745 \ m \ s^{-1}$

2.4 எறியத்தின் குறிப்பிட்ட திசைவேகத்திற்கு α மற்றும் (90° − α) என்ற இரு எறிகோணங்களுக்கு கிடைத்தள வீச்சு சமம் என மெய்ப்பிக்கவும்.

தீர்வு : கிடைத்தள வீச்சு $R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g}$ ...(1)

θ = α எனில், $R_1 = \frac{u^2 \sin 2\alpha}{g}$ ...(2)

$\theta = (90^o - \alpha)$ எனில்,

$$R_2 = \frac{u^2 \sin 2(90-\alpha)}{g} = \frac{u^2[2\sin(90-\alpha)\cos(90-\alpha)]}{g} \quad ...(3)$$

ஆனால் $\sin(90-\alpha) = \cos\alpha \ ; \quad \cos(90-\alpha) = \sin\alpha$

$$\therefore \quad R_2 = \frac{u^2(2\sin\alpha\cos\alpha)}{g} = \frac{u^2 \sin 2\alpha}{g} \quad ...(4)$$

α மற்றும் $(90^o - \alpha)$ ஆகிய இரு கோணங்களுக்கு கிடைத்தள வீச்சு சமம் என சமன்பாடு (2) மற்றும் (4)-லிருந்துத் தெரிகிறது.

2.5 *2000 m* உயரத்தில் *540 kmph* வேகத்தில் பறந்து கொண்டிருக்கும் ஆகாய விமானத்தின் விமானி, தரையில் உள்ள இலக்கு ஒன்றினைத் தாக்க நினைக்கிறார். இலக்கிலிருந்து எந்தத் தொலைவில் உள்ளபோது குண்டினை (bomb) விடுவித்தால், இலக்கு தாக்கப்படும்?

தகவல் : குண்டின் தொடக்கத் திசைவேகமும், விமானத்தின் வேகமும் சமம்.
கிடைக்கைத் திசையில் குண்டின் தொடக்கத் திசைவேகம் = *540 kmph*

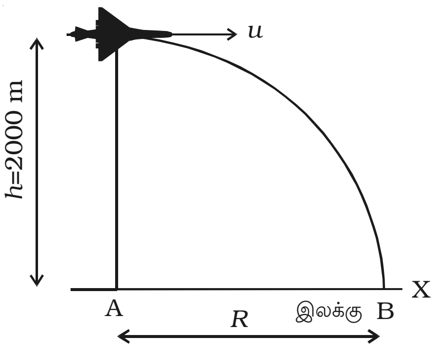
$$= 540 \times \frac{5}{18} \; m\ s^{-1} = 150\ m\ s^{-1}$$

செங்குத்துத் திசையில் தொடக்கத் திசைவேகம்
(u) = 0 ; செங்குத்துத் தொலைவு *(s) = 2000 m ;* பறக்கும் காலம் *t = ?*

தீர்வு : இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

அறிந்த மதிப்புகளைப் பிரதியிட $2000 = 0 \times t + \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2$

$2000 = 4.9t^2$ அல்லது $t = \sqrt{\frac{2000}{4.9}} = 20.20\ s$



$\therefore$ கிடைத்தள வீச்சு = கிடைக்கைத் திசைவேகம் × பறக்கும் காலம்

$$= 150 \times 20.20 = 3030\ m$$

2.6 இரு சமமான விசைகள், ஒன்றுக்கொன்று 60^o கோணத்தில் ஒரு புள்ளி மீது செயல்படுகின்றன. தொகுபயன் விசை $20\sqrt{3}\ N$ எனில், ஒவ்வொரு விசையின் எண் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : விசைக்களுக்கிடைப்பட்ட கோணம், $\theta = 60°$; தொகுபயன் $R = 20\sqrt{3}\ N$; $P = Q = ?$

தீர்வு :

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ\cos\theta}$$

$$= \sqrt{P^2 + P^2 + 2P.P\cos 60^o}$$

$$= \sqrt{2P^2 + 2P^2 \cdot \frac{1}{2}}$$

$$= P\sqrt{3}$$

$$20\sqrt{3} = P\sqrt{3}$$

$$P = 20\ N$$

2.7. படத்தில் காட்டப்பட்டது போன்று, துகளொன்றின்மீது $F_1 = 20\ kN$ மற்றும் $F_2 = 15\ kN$ என்ற விசைகள் செயல்படுகின்றன. முக்கோண விதியைக்கொண்டு, அவற்றின் தொகுபயனைக் காண்க.

தகவல் : $F_1 = 20\ kN;\ F_2 = 15\ k\ N;\ R=?$

தீர்வு : கொசைன் விதியைப் பயன்படுத்துவதால்

$$R^2 = P^2 + Q^2 - 2PQ\cos(180 - \theta)$$

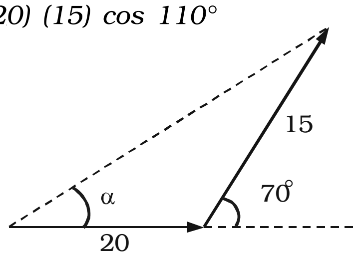
$$R^2 = 20^2 + 15^2 - 2\,(20)\,(15)\cos 110^\circ$$

$$\therefore\quad R = 28.813\ kN$$

சைன் விதியைப் பயன்படுத்துவதால்,

$$\frac{R}{\sin 110} = \frac{15}{\sin\alpha}$$

$$\therefore\quad \alpha = 29.3^\circ$$



2.8. ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் இரு விசைகளுக்கு இடைப்பட்ட கோணம் 120°. அதிக விசையின் மதிப்பு 5 kg wt மற்றும் அவற்றின தொகுபயன் குறைவான விசைக்குச் செங்குத்து எனில், தொகுபயனையும் குறைவான விசையையும் கணக்கிடுக.

தகவல் : அதிக விசை = *5 kg wt*

குறைவான விசையுடன் தொகுபயன் ஏற்படுத்தும் கோணம் = *90°*

தொகுபயன் = *?*

குறைவான விசை = *?*

தீர்வு : *OA* மற்றும் *OD* வழியாகச் செயல்படும் விசைகள் *P* மற்றும் *Q*–க்கு இடைப்பட்ட கோணம் $\angle AOD = 120^\circ$

OACD இணைகரத்தை நிறைவு செய்து, *OC*–யை இணைக்கவும். எனவே *OA*-க்குச் செங்குத்தான *OC*, தொகுபயனாகும். எனவே,

ΔOAC–ல்

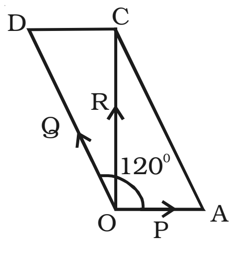
$$\angle OCA = \angle COD = 30^\circ$$

$$\angle AOC = 90^\circ$$

$$\angle OAC = 60^\circ$$

எனவே

$$\frac{P}{\sin 30} = \frac{Q}{\sin 90} = \frac{R}{\sin 60}$$



$$Q = 5\ kg\ wt$$ ஆதலால்

$$P = \frac{5 \sin 30}{\sin 90} = 2.5\ kg\ \ wt$$

$$R = \frac{5 \sin 60^o}{\sin 90^o} = \frac{5\sqrt{3}}{2}\ kg\ wt$$

2.9 கீழ்க்கண்ட நான்கு விசைகள் ஒரு புள்ளியில் செயல்பட்டால், அவற்றின் தொகுபயன் மற்றும் திசையைக் காண்க.

(i) 10 kN இழு விசை N 30° E திசையில் (ii) 20 kN தள்ளு விசை S 45° W திசையில் (iii) 5 kN தள்ளு விசை N 60° W திசையில் (iv) 15 kN இழு விசை S 60° E திசையில்

தகவல் : $F_1 = 10\ kN$; $F_2 = 20\ kN$; $F_3 = 5\ kN$; $F_4 = 15\ kN$; $R = ?$; $\alpha = ?$

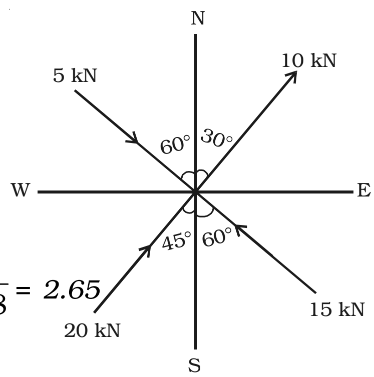
தீர்வு : ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் பல்வேறு விசைகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

கிடைத் திசையில் விசைகளைப் பகுக்க

$$\Sigma F_x = 10 \sin 30° + 5 \sin 60° + 20 \sin 45° \;\; 15 \sin 60°$$
$$= 10.48\ k\ N$$

செங்குத்துத் திசையில் விசைகளைப் பகுக்க

$$\Sigma F_y = 10 \cos 30° \;\; 5 \cos 60° + 20 \cos 45° + 15 \cos 60°$$
$$= 27.8\ kN$$



தொகுபயன் $R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$

$$= \sqrt{(10.48)^2 + (27.8)^2}$$
$$= 29.7\ kN$$

$$\tan \alpha = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x} = \frac{27.8}{10.48} = 2.65$$

$$\alpha = 69.34^o$$

2.10 1500 N எடையுள்ள இயந்திரம் ஒன்று, இரு கயிறுகளால் கட்டப்பட்டு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. ஒரு கயிறு, கிடைத்தளத்துடன் 30^o கோணத்தை ஏற்படுத்துமாறு சுவரில் உள்ள ஆணியில் கட்டப்பட்டுள்ளது. மற்றொரு கயிறு, கிடைத்தளத்துடன் 45^o கோணத்தை ஏற்படுத்துமாறு கூரையில் கட்டப்பட்டுள்ளது. இரு கயிறுகளில் உள்ள இழுவிசைகளைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : *W = 1500 N*

கம்பிகளில் இழுவிசை = ?

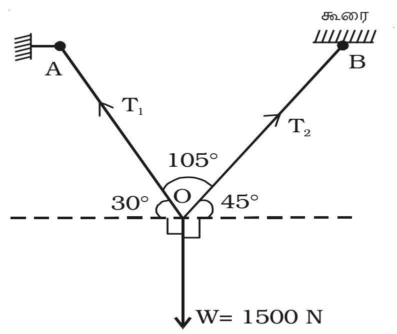
தீர்வு : கீழ்காண் விசைகளினால் இயந்திரம் சமநிலையில் இருக்கும்

(i) கீழ்நோக்கிய இயந்திரத்தின் எடை W

(ii) கயிறு *OA*–ல் இழுவிசை T_1

(iii) கயிறு *OB*–ல் இழுவிசை T_2.

O–வில் லாமியின் தேற்றத்தைச்செயல்படுத்த



$$\frac{T_1}{\sin\,(90^o+45^o)} = \frac{T_2}{\sin\,(90^o+30^o)} = \frac{T_3}{\sin\,105^o}$$

$$\frac{T_1}{\sin\,135^o} = \frac{T_2}{\sin\,120^o} = \frac{1500}{\sin\,105^o}$$

$$T_1 = \frac{1500 \times \sin\,135^o}{\sin\,105^o} = 1098.96\ N$$

$$T_2 = \frac{1500 \times \sin\,120^o}{\sin\,105^o} = 1346.11\ N$$

2.11 1500 m வளைவு ஆரமுள்ள இருப்புப் பாதையில் (railway) 72 kmph வேகத்தில் இரயில் வண்டி செல்கிறது. தண்டவாளங்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு 1.54 m. உள் தண்டவாளத்தைவிட வெளித்தண்டவாளம் உயர்த்தப்பட்ட உயரத்தைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $r = 1500\ m$; $v = 72\ kmph = 20\ m\ s^{-1}$; $l = 1.54\ m$; $h = ?$

தீர்வு : $\tan\theta = \frac{h}{l} = \frac{v^2}{rg}$

எனவே $h = \frac{lv^2}{rg} = \frac{1.54 \times (20)^2}{1500 \times 9.8} = 0.0419\ m$

2.12 **9 kmph** வேகத்தில் சென்று கொண்டிருக்கும் சரக்கு இரயிலில் இருந்து 2 டன்கள் நிறையுள்ள லாரி ஒன்று நழுவி, கீழே விழுந்து 2 நிமிடங்களில் ஓய்வு நிலைக்கு வருகிறது. லாரியின் மீது செயல்படும் எதிர்விசை என்ன?

தகவல் : $m = 2\ tonne = 2 \times 1000\ kg = 2000\ kg$

$$v_1 = 9\ kmph = 9 \times \frac{5}{18} = \frac{5}{2}\ m\ s^{-1}$$

$$v_2 = 0$$

தீர்வு : எதிர் விசை R என்க

உந்தம் – கணத்தாக்குத் தேற்றத்தின் படி, $(mv_1 - mv_2) = Rt$

அல்லது $m\,v_1 - Rt = mv_2$

$$2000 \times \frac{5}{2} - R \times 120 = 2000 \times 0$$

(அல்லது) $5000 - 120\ R = 0$

$$R = 41.67\ \ N$$

2.13 தொடக்கத்தில் ஓய்வு நிலையில் இருந்து, 8 நொடிகளில் **2 kg** நிறையுடைய பொருள் ஒன்று, உராய்வற்ற மிருதுவான மேசையின் மீது 0.5N விசையால் நகர்த்தப்படுகிறது. 8 நொடிகளில் விசை செய்த வேலையைக் கணக்கிடுக. இந்த வேலை, பொருளின் இயக்க ஆற்றல் மாறுபாட்டிற்குச் சமம் எனக் காட்டுக.

தகவல் : $M = 2\ kg\ ;\ F = 0.5\ N\ ;\ t = 8\ s\ ;\ W = ?$

தீர்வு : ஏற்படுத்தப்பட்ட முடுக்கம் $(a) = \frac{F}{m} = \frac{0.5}{2} = 0.25\ m\ s^{-2}$

$8\ s$–க்குப் பிறகு பொருளின் திசைவேகம் $= a \times t = 0.25 \times 8 = 2\ m\ s^{-1}$

$8\ s$ –ல் பொருள் கடந்த தொலைவு $= S = ut + \frac{1}{2}\ at^2$

$$S = (0 \times 8) + \frac{1}{2}(0.25)\ (8)^2 = 8\ m$$

$\therefore\ 8\ s$–ல் விசை செய்த வேலை = விசை × தொலைவு $= 0.5 \times 8 = 4\ J$

தொடக்க இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\ m\ (0)^2 = 0$

இறுதி இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\ mv^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times (2)^2 = 4\ J$

$\therefore$ இயக்க ஆற்றலின் மாறுபாடு =

இறுதி இ.ஆ – தொடக்க இ.ஆ $= 4 - 0 = 4\ J$

செய்யப்படும் வேலை, பொருளின் இயக்க ஆற்றலின் மாறுபாட்டிற்குச் சமம்.

2.14 பொருளொன்று, $39.2\ \mathrm{m\ s^{-1}}$ திசைவேகத்துடன், தரையிலிருந்து மேல்நோக்கிச் செங்குத்தாக எறியப்படுகிறது. தொடக்க இயக்க ஆற்றலில், நான்கில் ஒரு பங்காகக் குறைந்திருக்கும் உயரத்தைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $v = 39.2\ m\ s^{-1}\ ;\ h = ?$

தீர்வு : பொருளை மேல்நோக்கி எறியும்போது திசைவேகம் குறைகிறது. நிலையாற்றல் அதிகரிக்கிறது.

நிலையாற்றல், அதன் தொடக்க மதிப்பில் கால் பங்காக இருக்கும் உயரம் h என்க.

அதாவது, இயக்க ஆற்றின் இழப்பு = நிலையாற்றலின் அதிகரிப்பு

$$\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}\ mv^2 = mgh$$

$$\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}\ (39.2)^2 = 9.8 \times h$$

$$h = 58.8\ m$$

2.15 துப்பாக்கி ஒன்றிலிருந்து வெளியேறிய $10\ \mathrm{g}$ நிறையுடைய குண்டு, கம்பியினால் கட்டித் தொங்கவிடப்பட்ட, $5\ \mathrm{kg}$ நிறையுடைய மரக்கட்டையைத் துளைத்து, அதனுள் பொதிந்து விடுகிறது. இந்த மோதலினால், கட்டை அலைவுற்று, தொடக்க மட்டத்துடன் $5\ \mathrm{cm}$ உயரத்திற்குச் செல்கிறது. துப்பாக்கிக் குண்டின் தொடக்கத் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : குண்டின் நிறை $= m_A = 10\ gm = 0.01\ kg$

மரக்கட்டையின் நிறை $= m_B = 5\ kg$

மோதலுக்குமுன் குண்டின் தொடக்கத் திசைவேகம் $= u_A = ?$

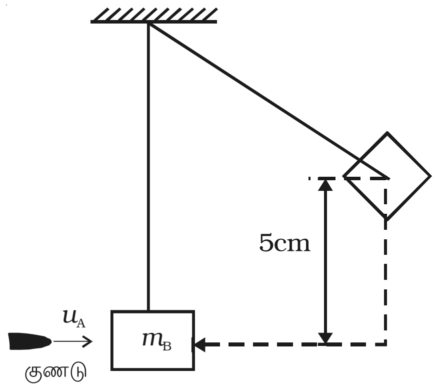
மோதலுக்குமுன் கட்டையின் தொடக்கத் திசைவேகம் $= u_B = 0$

குண்டு மற்றும் கட்டையின் இறுதித் திசைவேகம் $= v$

தீர்வு : நேர்க்கோட்டு உந்த அழிவின்மை விதியின் படி,

$$m_A u_A + m_B u_B = (m_A + m_B)\ v$$

$$(0.01)u_A + (5 \times 0) = (0.01 + 5)\ v$$



அல்லது

$$v = \left(\frac{0.01}{5.01}\right) u_A = \frac{u_A}{501} \qquad ...(1)$$

ஆற்றல் அழிவின்மை விதியைப் பயன்படுத்தி,

ஒன்றிணைந்த நிறையின் இயக்க ஆற்றல் = உச்சிப் புள்ளியில் நிலையாற்றல்

அல்லது $$\frac{1}{2}(m_A + m_B)\, v^2 = (m_A + m_B)\, gh \qquad ...(2)$$

சமன்பாடு *(1)* மற்றும் *(2)* –லிருந்து,

$$\frac{u_A^2}{(501)^2} = 2gh \text{ (அல்லது) } \quad u_A = \sqrt{2.46 \times 10^5} = 496.0\ m\ s^{-1}$$

தன் மதிப்பீடு

(இந்தத் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள வினாக்களும் கணக்குகளும் மாதிரிகளே. இவற்றைப்போன்று, பாடப் பொருளிலிருந்து எந்தவொரு வினாவையும் அல்லது கணக்கினையும் வடிவமைக்கலாம். மாணவ, மாணவியர் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியிலிருந்து மட்டுமல்லாமல், பாடப் பொருளிலிருந்தும் வடிவமைக்கப்படக்கூடிய வினாக்களுக்கும் கணக்குகளுக்கும் விடையளிக்க ஆயத்தம் செய்து கொள்ள வேண்டும்.)

2.1 ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் துகள், கிடைத்தளத்தில் நேர்க்கோட்டில் சீரான முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது. நான்காவது மற்றும் மூன்றாவது நொடிகளில், அது கடந்த தொலைவுகளின் தகவு

(a) $\frac{4}{3}$ (b) $\frac{26}{9}$

(c) $\frac{7}{5}$ (d) 2

2.2 தடங்கலின்றித் தானே கீழே விழும் பொருள், 1, 2 மற்றும் 3 நொடிகளில் கடந்த தொலைவுகளின் தகவு

(a) 1 : 2 : 3 (b) 1 : 3 : 5

(c) 1 : 4 : 9 (d) 9 : 4 : 1

2.3 t காலத்தில், துகளின் நேர்க்கோட்டு இடப்பெயர்ச்சி $x = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$ (a_0, a_1, a_2-மாறிலிகள்) எனில், துகளின் முடுக்கம்,

(a) a_0 (b) a_1

(c) a_2 (d) $2a_2$

2.4 இயங்கும் பொருளின் முடுக்கம் எதற்குச் சமம்?

(a) திசைவேகம் - காலம் வரைபடத்தின் பரப்பு

(b) தொலைவு - காலம் வரைபடத்தின் பரப்பு

(c) திசைவேகம் - காலம் வரைபடத்தின் சாய்வு

(d) தொலைவு - காலம் வரைபடத்தின் சாய்வு

2.5 கீழ்கண்டவற்றுள், வெக்டர் அளவு எது?

(a) தொலைவு (b) வெப்பநிலை

(c) நிறை (d) உந்தம்

2.6 கிடைத்தளத்துடன் 45^o கோணத்தில் பொருளொன்று எறியப்பட்டால், அதன் கிடைத்தள வீச்சு எதற்குச் சமம்?

(a) செங்குத்து உயரம்

(b) செங்குத்து உயரத்தைப் போல் இரு மடங்கு

(c) செங்குத்து உயரத்தைப் போல் மூன்று மடங்கு

(d) செங்குத்து உயரத்தைப் போல் நான்கு மடங்கு

2.7 கிடைத்தளத்துடன் θ மற்றும் *(90 – θ)* என்ற கோணங்களில் இரு துப்பாக்கிக் குண்டுகள் சம வேகத்தில் சென்றால், அவற்றின் பறக்கும் காலங்களின் தகவு

(a) 1:1 *(b)* $tan\ \theta : 1$

(c) $1: tan\ \theta$ *(d)* $tan^2\ \theta : 1$

2.8 கிடைத்தளத்தில், நேரான பாதையில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் இரயில் வண்டியின் சன்னல் வழியாக கல் ஒன்று விழுமாறு செய்யப்பட்டால், வெளியில் தரையில் உள்ள ஒருவருக்கு அக்கல்லின் பாதை எப்படித் தெரியும்?

(a) நேர்க்கோடு *(b)* பரவளையம்

(c) வட்டம் *(d)* அதிபரவளையம்

2.9 கிடைத்தளத்துடன் 60^o மற்றும் 30^o கோணங்களில் துப்பாக்கி ஒன்று, இரு குண்டுகளை சமதிசைவேகங்களில் வெளியேற்றுகிறது. இரு துப்பாக்கிக் குண்டுகளின் பெரும உயரங்களின் தகவு

(a) 2 : 1 *(b)* 3 : 1

(c) 4 : 1 *(d)* 1 : 1

2.10 நியூட்டனின் முதல் இயக்கவிதியில் இருந்து அறியப்படும் கருத்து

(a) ஆற்றல் *(b)* வேலை

(c) உந்தம் *(d)* நிலைமம்

2.11 பொருளின் நிலைமம் நேரிடையாக எதனைச் சார்ந்தது?

(a) திசைவேகம் *(b)* நிறை

(c) பரப்பு *(d)* பருமன்

2.12 எதனடிப்படையில் ராக்கெட் செயல்படுகிறது?

(a) நியூட்டனின் முதல் இயக்க விதி

(b) நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதி

(c) நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்கவிதி

(d) நியூட்டனின் முதல் மற்றும் இரண்டாம் இயக்க விதிகள்

2.13 ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் மூன்று விசைகள் சமநிலையில் உள்ள போது

(a) ஒவ்வொரு விசையும் மற்ற இரு விசைகளின் வெக்டர் கூடுதலுக்குச் சமம்.

(b) ஒவ்வொரு விசையும் மற்ற இரு விசைகளின் கூடுதலைவிட அதிகம்.

(c) ஒவ்வொரு விசையும் மற்ற இரு விசைகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாட்டை விட அதிகம்.

(d) ஒவ்வொரு விசையும் மற்ற இரு விசைகளின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமம்.

2.14 துகள் ஒன்று வட்டப்பாதையில் சுற்றிவரும்போது, அதன் முடுக்கம்

(a) தொடுகோட்டின் வழியே ஏற்படும்

(b) ஆரத்தின் வழியே ஏற்படும்

(c) வட்டப்பாதை வழியே ஏற்படும்

(d) சுழி

2.15 வட்ட இயக்கத்தில் உள்ள துகள் ஒன்று, சம காலங்களில் சம கோணங்களை ஏற்படுத்தினால் அதன் திசைவேகம்,

(a) எண் மதிப்பில் மட்டும் மாறும்

(b) மாறாமல் இருக்கும்

(c) திசையில் மட்டும் மாறும்

(d) எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் மாறும்

2.16 விசையொன்று செயல்படுவதால், துகள் வட்டப்பாதையில் இயங்குகிறது. விசை செய்த வேலை

(a) நேர்க்குறி, சுழியல்ல　　*(b)* சுழி

(c) எதிர்க்குறி, சுழியல்ல　　*(d)* மேற்கண்ட ஏதுமில்லை

2.17 சரிசமமான, உராய்வுத் தன்மையுடைய சாலையில், m நிறையுள்ள மிதிவண்டி ஓட்டி ஒருவர் v திசைவேகத்துடன் r ஆரமுள்ள வளைவுப் பாதையில் செல்கிறார். அவர் நழுவி விழாமல் இருக்க,

(a) $(mv^2/2) > \mu mg$　　(b) $(mv^2/r) > \mu mg$

(c) $(mv^2/r) < \mu mg$　　(d) $(v/r) = \mu g$

2.18 பொருளொன்றின் மீது F விசை செயல்பட்டு, அது v திசைவேகத்தில் இயங்கினால், திறன்

(a) $F.v$ (b) F/v

(c) Fv^2 (d) F/v^2

2.19 மீட்சி மோதலில்

(a) இயக்க ஆற்றல் முதலில் அதிகரித்துப் பிறகு குறையும்

(b) இறுதி இயக்க ஆற்றல் மாறாமல் இருக்காது

(c) தொடக்க ஆற்றலைவிட இறுதி இயக்க ஆற்றல் குறைவு

(d) தொடக்க இயக்க ஆற்றலும், இறுதி இயக்க ஆற்றலும் சமம்

2.20 கிடைத்தளத்தில் உள்ள உராய்வற்ற மேசையின் மீதுள்ள மரக்கட்டையில், துப்பாக்கிக் கொண்டு மோதி, அதனுள் பொதிந்து விடுகிறது. கீழ்க்கண்டவற்றுள் எது மாறாதது?

(a) உந்தமும் இயக்க ஆற்றலும் (b) இயக்க ஆற்றல் மட்டும்

(c) உந்தம் மட்டும் (d) நிலை ஆற்றல் மட்டும்

2.21 கிழக்கு நோக்கி 4 km நடந்து, பிறகு வடக்கு நோக்கி 3 km நடந்து செல்லும் மாணவர் ஒருவர் **(i)** கடக்கும் தொலைவு மற்றும் **(ii)** ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சியைக் கணக்கிடுக.

2.22 மிதிவண்டி ஓட்டுபவர் ஒரு முழுச் சுற்று சுற்றி வரும்போது **(i)** கடந்த தொலைவு மற்றும் **(ii)** ஏற்பட்ட இடப்பெயர்ச்சி என்ன?

2.23 பொருளின் வேகம் மற்றும் திசைவேகத்தை வேறுபடுத்துக.

2.24 எதிர் முடுக்கம் என்பது என்ன?

2.25 திசைவேகம் - காலம் வரைபடத்தின் முக்கியத்துவம் யாது?

2.26 சீராக முடுக்கப்பட்ட பொருளின் இயக்கச் சமன்பாடுகளை வருவி.

2.27 ஸ்கேலர் மற்றும் வெக்டர் அளவுகள் என்பவை யாவை?

2.28 வெக்டர் அளவை எவ்வாறு குறிப்பிடுவாய்?

2.29 ஒரே கோட்டில், ஒரே திசையில் செயல்படும் இரு வெக்டர்களின் தொகுபயனின் எண் மதிப்பும் திசையும் யாது?

2.30 வெக்டர்களின் இணைகரவிதியையும், முக்கோண விதியையும் கூறுக.

2.31 ஒன்றுடன் ஒன்று θ கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள இரு வெக்டர்களின் தொகுபயனின் எண் மதிப்பு மற்றும் திசைக்கானச் சமன்பாடுகளைப் பெறுக.

2.32 நியூட்டனின் இயக்க விதிகளைக் கூறுக.

2.33 வெவ்வேறு வகையான நிலைமங்களை எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்குக.

2.34 நேர்க்கோட்டு உந்த அழிவின்மை விதியைக் கூறி, விளக்குக.

2.35 விசையின் தாக்கத்தை வரையறு.

2.36 மையநோக்கு முடுக்கத்திற்கான கோவையைப் பெறுக.

2.37 மையவிலக்கு எதிர்ச்செயல் என்றால் என்ன?

2.38 செங்குத்து வட்டத்தில் சுற்றிவரும் பொருளின் மாறுநிலைத் திசைவேகத்திற்கான கோவையைப் பெறுக.

2.39 விளிம்பு உயர்த்தப்பட்ட பாதை என்பதன் பொருள் என்ன?

2.40 வளைவுப் பாதையில் செல்லும் மிதிவண்டி ஓட்டி, சாயும் கோணத்திற்குச் சமன்பாடு பெறுக.

2.41 இரு வகை மோதல்கள் யாவை? அவற்றை விளக்குக.

2.42 ஒரு பரிமாண இயக்கத்தில், இரு பொருள்களின் மோதலுக்குப் பிறகு, திசைவேகங்களுக்கான கோவைகளைப் பெறுக.

2.43 சம நிறையுடைய இரு பொருள்களுக்கிடையே, ஒரு பரிமாண மீட்சி மோதல் நடைபெறும்போது திசைவேகங்கள் பரிமாற்றம் அடைவதை மெய்ப்பிக்கவும்.

கணக்குகள்

2.44 நேர்க்கோட்டில் சீரான முடுக்கத்துடன் இயங்கும் துகளொன்று 8-வது நொடியில் 55m தொலைவையும் 13-வது நொடியில் 85m தொலைவையும் கடந்தால், அதன் தொடக்கத் திசைவேகத்தையும் முடுக்கத்தையும் கணக்கிடுக.

2.45 ஆகாய விமானம் ஒன்று கிடைத்தளத்துடன் 45^o கோணத்தில் பறக்கத் தொடங்குகிறது. அதன் செங்குத்துத் திசைவேகக் கூறு *300 kmph* எனில், உண்மையான திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக. அதன் கிடைத்தளத் திசைவேகக் கூறு என்ன?

2.46 கிடைத்தளத்திற்கு 60^o சாய்வாக விசை ஒன்று செயல்படுகிறது. அவ்விசையின் கிடைத்தளக் கூறு *40 kg wt,* எனில், செங்குத்துக் கூறினைக் கணக்கிடுக.

2.47 கிடைத்தளத்துடன் 30^o கோணத்தில், $30\ m\ s^{-1}$ என்ற திசைவேகத்துடன் பொருளொன்று எறியப்படுகிறது. **(i)** பறக்கும் காலம், **(ii)** வீச்சு மற்றும் **(iii)** பொருள் அடையும் பெரும உயரம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

2.48 எறியம் ஒன்றின் கிடைத்தள வீச்சானது, பெரும உயரத்தைப் போல் $4\sqrt{3}$ மடங்கு எனில், எறிகோணத்தைக் கணக்கிடுக.

2.49 கிடைத்தள வீச்சானது, பெரும உயரத்தைப் போல் 3 மடங்கு இருக்குமாறு எறிபொருள் எறியப்பட்டால் எறிகோணத்தைக் கணக்கிடுக.

2.50 *65 kg* நிறையுடைய பொருளைத் தூக்குவதற்கு உயர்த்தி (elevator) ஒன்று தேவைப்படுகிறது. தரையின் மீது 800 N எதிர்ச்செயலை ஏற்படுத்தக்கூடிய அந்த உயர்த்தியின் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

2.51 6 kg நிறையுடைய பொருளொன்றின்மீது செயல்படும் விசை, அதன் திசைவேகத்தை $3\ m\ s^{-1}$-லிருந்து $5\ m\ s^{-1}$-க்கு மாற்றுகிறது. விசையின் தாக்கத்தைக் கணக்கிடுக. 2 நொடிகளுக்கு விசை செயல்பட்டால், அவ்விசையைக் கணக்கிடுக.

2.52 $36\ m\ s^{-1}$ வேகத்தில் இயங்கும் 150 g நிறையுள்ள கிரிக்கெட் பந்து, மட்டையில் மோதி, சென்ற திசையிலேயே மீண்டும் $21\ m\ s^{-1}$ திசைவேகத்தில் பின்னோக்கி வருகிறது. ஏற்பட்ட உந்த மாற்றம் என்ன? பந்து, மட்டையுடன் $(1/20)\ s$, காலத்திற்கு தொட்டுக் கொண்டிருந்தால், செயல்படுத்தப்பட்ட சராசரி விசை என்ன?

2.53 12 N மற்றும் 8 N எண் மதிப்புகள் உடைய இரு விசைகள் ஒரு புள்ளியில் செயல்படுகின்றன. இரு விசைகளுக்கிடைப்பட்ட கோணம் 60^o எனில், தொகுபயன் விசையின் எண் மதிப்பு என்ன?

2.54 ஒன்றுக்கொன்று சாய்வாக உள்ள இரு விசைகளின் கூடுதல் $18\ kg\ wt$. சிறிய விசைக்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படும், அவ்விரு விசைகளின் தொகுபயன் $12\ kg\ wt$. இரு விசைகளின் மதிப்புகளையும், அவற்றிற்கிடைப்பட்ட கோணத்தையும் கணக்கிடுக.

2.55 3 m நீளமும் 4 m நீளமும் உள்ள இரு கயிறுகள் 20 kN எடையைத் தாங்கிப் பிடித்துள்ளன. இரு கயிறுகளின் மறு முனைகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு 5 m. கயிறுகளில் உள்ள இழுவிசைகளைக் கணக்கிடுக.

2.56 கீழ்க்காணும் விசைகள் ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் போது தொகுபயன் விசையின் எண்மதிப்பையும் திசையையும் கணக்கிடுக.

(i) வடகிழக்குத் திசையில் 30^o சாய்வாக 20 N

(ii) வடதிசையில் 25 N

(iii) வடமேற்குத் திசையில் 45^o சாய்வாக 30 N

(iv) தென்மேற்குத் திசையில் 40^o சாய்வாக 35 N

2.57 ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாகச் செயல்படும் இரு விசைகளின் தொகுபயன் $\sqrt{10}$ *N.* ஆனால், அவ்விரு விசைகளுக்கிடையே 60^o கோணம் உள்ளபோது, தொகுபயன் $\sqrt{13}$ *N* எனில், இரு விசைகளின் எண் மதிப்புகளைக் கணக்கிடுக.

2.58 *880 m* வளைவு ஆரமுடைய இருப்புப் பாதையில் *44* $m\ s^{-1}$ திசைவேகத்தில் இயங்கும் இரயில் வண்டி பாதுகாப்பாகச் செல்ல, உட்புறத் தண்டவாளத்தை விட உயர்த்தப்பட்ட வெளிப்புறத் தண்டவாளத்தின் சாய்வுக் கோணம் என்ன?

2.59 200 m ஆரமுள்ள வளைவுப் பாதையில் 60 டன்கள் நிறையுள்ள இரயில் எஞ்சின் ஒன்று *36 kmph* திசைவேகத்தில் செல்கிறது. வளைவுப் பாதையின் மையத்தை நோக்கி, தண்டவாளங்களின் மீது செயல்படும் விசையைக் கணக்கிடுக.

2.60 *4.5 kmph* வேகத்தில் செல்லும் குதிரை ஒன்று, *300 N* என்ற மாறாத விசையுடன் வண்டியை கிடைத்தளத்தில் இழுத்துச் செல்கிறது. 5 நிமிடங்களில் குதிரை செய்த வேலையைக் கணக்கிடுக.

2.61 30 *m* உயரத்திலிருந்து, 10 $m\ s^{-1}$ திசைவேகத்தில் பந்து ஒன்று கீழ்நோக்கி வீசப்படுகிறது. பந்து, தரையில் மோதும் திசைவேகத்தை ஆற்றல் அழிவின்மை விதியைக் கொண்டு கணக்கிடுக.

2.62 30 *kg* நிறையுள்ள பெட்டி ஒன்றை தலைமீது சுமந்து கொண்டிருக்கும் ஒருவர், **(i)** செங்குத்தாகவும் **(ii)** கிடைத்தளத்திலும் 10 *m* தொலைவு செல்லும்போது அவர் செய்த வேலையைக் கணக்கிடுக.

2.63 2 *kg* மற்றும் 5 *kg* நிறைகள் சம இயக்க ஆற்றலுடன் இயங்கினால், அவற்றின் உந்தங்களின் தகவினைக் கணக்கிடுக.

2.64 60 *kg* நிறையுள்ள ஒருவர் 3 m உயரத்திலுள்ள மாடிப்படிகளை 4 நொடிகளில் ஏறிக் கடக்கிறார். அவரால் ஏற்படுத்தப்பட்ட திறனைக் கணக்கிடுக.

2.65 $8\ m\ s^{-1}$ வேகத்தில் இயங்கும் மோட்டார் படகு ஒன்றிற்கு, நீர் ஏற்படுத்தும் தடை 2000 N எனில், எஞ்சினின் திறனைக் கணக்கிடுக.

2.66 *300 kg* மற்றும் *200 kg* நிறைஉடைய இரு பொருள்கள், உராய்வற்ற கிடைத்தளத்தில் *50* $m\ s^{-1}$ மற்றும் *100* $m\ s^{-1}$ திசைவேகங்களுடன் ஒன்றையொன்று நோக்கி இயங்குகின்றன. முழுமீட்சி மோதல் ஏற்படின், ஒவ்வொன்றின் இறுதித் திசைவேகத்தையும் கணக்கிடுக.

விடைகள்

2.1 *(c)*	***2.2*** *(c)*	***2.3*** *(d)*	***2.4*** *(c)*
2.5 *(d)*	***2.6*** *(d)*	***2.7*** *(b)*	***2.8*** *(b)*
2.9 *(b)*	***2.10*** *(d)*	***2.11*** *(b)*	***2.12*** *(c)*
2.13 *(a)*	***2.14*** *(b)*	***2.15*** *(c)*	***2.16*** *(b)*
2.17 *(c)*	***2.18*** *(a)*	***2.19*** *(d)*	***2.20*** *(c)*

2.44 $10\ m\ s^{-1}$; $6\ m\ s^{-2}$

2.45 424.26 kmph ; 300 kmph

2.46 69.28 kg wt

2.47 3.06s; 79.53 m ; 11.48 m

2.48 30^o

2.49 $53^o7'$

2.50 $2.5\ m\ s^{-2}$

2.51 12 N s ; 6 N

2.52 $8.55\ kg\ m\ s^{-1}$; 171 N

2.53 17.43 N

2.54 5 kg wt ; 13 kg wt ; $112^o37'$

2.55 16 k N, 12 k N

2.56 45.6 N ; $132^o\ 18'$

2.57 3 N ; 1 N

2.58 $12^o39'$

2.59 30 kN

2.60 $1.125 \times 10^5\ J$

2.61 $26.23\ m\ s^{-1}$

2.62 2940 J ; 0

2.63 0.6324

2.64 441 W

2.65 16000 W

2.66 $-70\ m\ s^{-1}$; $80\ m\ s^{-1}$

3. சுழல் இயக்கவிசையியல்

3.1 நிறையின் மையம்

ஒவ்வொரு பொருளும் எண்ணிக்கையில் மிக்க நுண்ணிய துகள்களால் ஆக்கப்பட்டது. பொருளின் நேர்க்கோட்டு இயக்கத்தின்போது, ஒவ்வொரு துகளும் குறிப்பிட்ட காலத்தில் சம இடப்பெயர்ச்சி அடைகிறது. எனவே, ஒட்டு மொத்தப் பொருளின் இயக்கம் ஒரு துகளின் இயக்கமாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. நேர்க்கோட்டியக்கத்தில் பொருள் சுழலும்போது அல்லது அதிர்வடையும்போது, அதன் இயக்கத்தை அப்பொருளின் மீதான ஒரு புள்ளியாகக் குறிப்பிடலாம். இந்த இயக்கமானது, தனித்திருக்கும் துகளின்மீது புறவிசைகள் செயல்பட்டு அதனை இயக்குவது போன்றே இருக்கும். அமைப்பில், பொருளொன்றின் ஒட்டுமொத்த நிறையும் செறிந்திருக்கும் புள்ளி பொருளின் நிறையின் மையம் எனப்படும். எனவே, அமைப்பொன்று, இரண்டு அல்லது இரண்டிற்கு மேற்பட்ட துகள்களை உள்ளடக்கியதாக இருப்பின், அதன் நேர்க்கோட்டியக்கத்தை நிறையின் மையத்தின் இயக்கமாகக் கூறலாம்.

3.1.1 இரு துகள் அமைப்பு ஒன்றின் நிறையின் மையம்

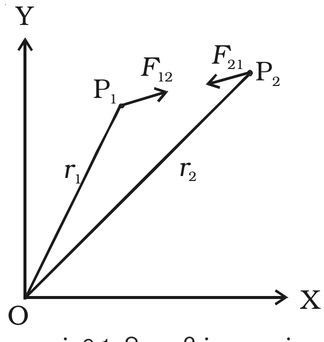
m_1 மற்றும் m_2 நிறைகள் உடைய இரு துகள்கள் அடங்கிய அமைப்பொன்றினைக் கருதுவோம். படம் 3.1-ல் காட்டியவாறு, t காலத்தில் துகள்களின் நிலைகள் P_1 மற்றும் P_2 எனவும், ஆதி O-விலிருந்து அவற்றின் தொலைவுகள் r_1 மற்றும் r_2 எனவும் கருதுக. துகள்களின் திசைவேகம் மற்றும் முடுக்கம்,

$$v_1 = \frac{dr_1}{dt} \quad ...(1)$$

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt} \quad ...(2)$$

$$v_2 = \frac{dr_2}{dt} \quad ...(3)$$

$$a_2 = \frac{dv_2}{dt} \quad ...(4)$$



படம் 3.1 நிறையின் மையம்

P_1-ல் உள்ள துகளின் மீது இரண்டு விசைகள் செயல்படுகின்றன.

(i) P_2-ல் உள்ள துகளினால் ஏற்படும் விசை, F_{12} மற்றும் **(ii)** அமைப்பிற்கு வெளியிலிருக்கும் சில துகள்களினால் ஏற்படும் புறவிசை, F_{1e}

இவ்விரண்டு விசைகளின் தொகுபயன்,

$$F_1 = F_{12} + F_{1e} \qquad \ldots(5)$$

இதுபோன்று, துகள் P_2-ன் மீது செயல்படும் தொகுபயன் விசை,

$$F_2 = F_{21} + F_{2e} \qquad \ldots(6)$$

இங்கு, F_{21} என்பது துகள் P_2-ன் மீது துகள் P_1 செயல்படுத்தும் விசையாகும்.

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்கவிதியைப் பயன்படுத்துவதால்,

$$F_1 = m_1 a_1 \qquad \ldots(7)$$

மற்றும் $F_2 = m_2 a_2$ ...(8)

(7)-வது சமன்பாட்டையும் (8)-வது சமன்பாட்டையும் கூட்ட,

$$m_1 a_1 + m_2 a_2 = F_1 + F_2$$

சமன்பாடுகள் (5) மற்றும் (6)-லிருந்து F_1, F_2 மதிப்புகளைப் பிரதியிட,

$$m_1 a_1 + m_2 a_2 = F_{12} + F_{1e} + F_{21} + F_{2e}$$

நியூட்டனின் மூன்றாவது விதிப்படி, P_2-ல் உள்ள துகள், P_1-ல் உள்ள துகள் மீது செயல்படுத்தும் அகவிசையானது (F_{12}), P_1 துகள் P_2 துகளின் மீது செயல்படுத்தும் விசைக்குச் (F_{21}) சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கும்.

அதாவது, $F_{12} = - F_{21}$ ...(9)

$$\therefore \quad F = F_{1e} + F_{2e} \qquad \ldots(10)$$

$$[\because m_1 a_1 + m_2 a_2 = F]$$

இங்கு, F என்பது அமைப்பின் மீது செயல்படும் மொத்த புறவிசையாகும்.

அமைப்பின் மொத்த நிறை,

$$M = m_1 + m_2 \qquad \ldots(11)$$

அமைப்பின் மீது செயல்படும் F என்ற மொத்த புறவிசை, a_{CM} என்ற முடுக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது. இதனை, அமைப்பின் நிறையின் மையத்தின் முடுக்கம் எனலாம்.

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியின்படி, இரு துகள்கள் அமைப்பிற்கு,

$$F = M\, a_{CM} \qquad \ldots(12)$$

சமன்பாடுகள் (10) மற்றும் (12)-லிருந்து

$$M\, a_{CM} = m_1 a_1 + m_2 a_2 \qquad \ldots(13)$$

R_{CM} என்பது நிறையின் மையத்தின் நிலை வெக்டர் எனில்,

$$\therefore\ a_{CM} = \frac{d^2(R_{CM})}{dt^2} \qquad \ldots(14)$$

சமன்பாடுகள் (13) மற்றும் (14)லிருந்து,

$$\frac{d^2R_{CM}}{dt^2} = \left(\frac{1}{M}\right)\left(m_1\frac{d^2r_1}{dt^2} + m_2\frac{d^2r_2}{dt^2}\right)$$

$$= \frac{1}{M}\left(\frac{d^2}{dt^2}(m_1r_1 + m_2r_2)\right)$$

$$\therefore\ R_{CM} = \frac{1}{M}(m_1r_1 + m_2r_2)$$

$$R_{CM} = \frac{m_1r_1 + m_2r_2}{m_1 + m_2} \qquad \ldots(15)$$

m_1, m_2 நிறைகளுடைய இரு துகள்களின் அமைப்பின், நிறைமையத்தின் நிலையை இச்சமன்பாடு குறிக்கிறது.

நிறைகள் சமமெனில் $(m_1 = m_2)$, நிறையின் மையத்தின் நிலை வெக்டர்

$$R_{CM} = \frac{r_1 + r_2}{2} \qquad \ldots(16)$$

இரு நிறைகளையும் இணைக்கும் கோட்டின் மையத்தில் நிறையின் மையம் இருக்கிறது என்பதை சமன்பாடு (16) காட்டுகிறது.

3.1.2 n துகள்களை உள்ளடக்கிய பொருளின் நிறையின் மையம்

r_1, r_2, r_3......r_n என்ற நிலை வெக்டர்களும் m_1, m_2, m_3 ....m_n என்ற நிறைகளும் உடைய n துகள்களை உள்ளடக்கிய அமைப்பு ஒன்றின் மொத்த நிறை,

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + m_n$$

ஆதிப்புள்ளி O-வைப் பொருத்து நிறையின் மையத்தின் நிலை வெக்டர்,

$$R_{CM} = \frac{m_1r_1 + m_2r_2 \ldots\ldots + m_nr_n}{m_1 + m_2 \ldots\ldots + m_n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i r_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i r_i}{M}$$

அமைப்பின் நிறையின் மையத்தின் x கூறு மற்றும் y கூறுகள்,

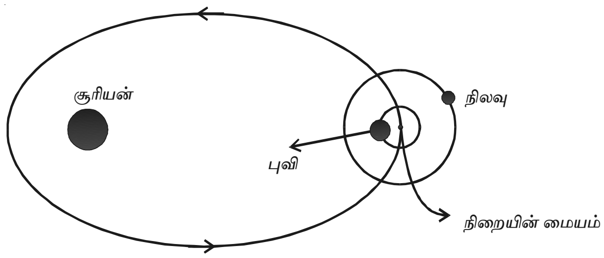
$$x = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + ...m_nx_n}{m_1 + m_2 + ...m_n}$$

மற்றும் $$y = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + ...m_ny_n}{m_1 + m_2 + ...m_n}$$

நிறையின் மையத்தின் இயக்கத்திற்கு எடுத்துக்காட்டு

புவி-நிலவு அமைப்பின் நிறையின் மையத்தின் இயக்கத்தைக் கருதுவோம். நிலவு, புவியைச் சுற்றி வட்டப்பாதையிலும், புவி, சூரியனைச் சுற்றி நீள் வட்டப்பாதையிலும் இயங்குகின்றன (படம் 3.2).

புவியும், நிலவும், அவற்றின் பொதுவான நிறையின் மையத்தைப் பொருத்து வட்டப்பாதைகளில் சுற்றிக்கொண்டே, சூரியனை நீள்வட்டப் பாதையில் சுற்றி வருகின்றன என்பதே சரியான கூற்றாகும்.



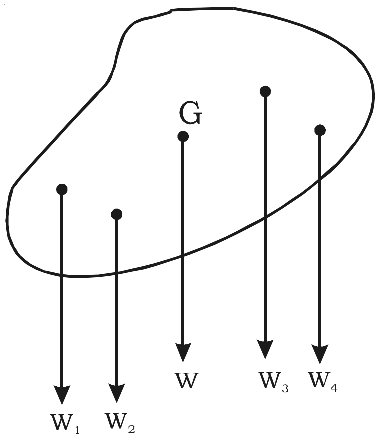
படம் 3.2 புவி - நிலவு அமைப்பின் நிறை மையம்

புவி-நிலவு அமைப்பில், அவற்றிற்கிடையேயான பரிமாற்ற ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசைகள், அமைப்பின் அகவிசைகளாகவும், புவி மற்றும் நிலவு ஆகிய இரண்டின் மீதும் சூரியனின் கவர்ச்சி விசை புறவிசைகளாகவும், அமைப்பின் நிறையின் மையத்தின் மீது செயல்படுகின்றன.

3.1.3 ஈர்ப்பின் மையம் ***(Centre of gravity)***

பொருள் என்பது ஒவ்வொன்றும் புவியின் மையத்தை நோக்கி ஈர்ப்பு விசையினால் கவரக்கூடிய எண்ணிக்கையற்ற துகள்களால் ஆக்கப்படடது எனலாம். இவ்விசைகள் ஒத்த இணை விசைகளின் தொகுதியாக இருக்கின்றன. இந்த இணை விசைகளின் தொகுபயன் பொருளின் எடை எனப்படும். இந்த எடையானது பொருளின் நிலை எவ்வாறு இருப்பினும், பொருளைச் சார்ந்த நிலையான ஒரு புள்ளி வழியே செயல்படும். இந்த நிலையான புள்ளி, பொருளின் ஈர்ப்பின் மையம் எனப்படும்.

பொருளின் அளவும் வடிவமும் மாறாமல் உள்ளபோது, பொருளின் அமைவு அல்லது நிலை எவ்வாறிருப்பினும், அதன் அனைத்துத் துகள்களின் எடைகளின் தொகுபயன் செயல்படக் கூடிய புள்ளி பொருளின் ஈர்ப்பின் மையம் ஆகும்.

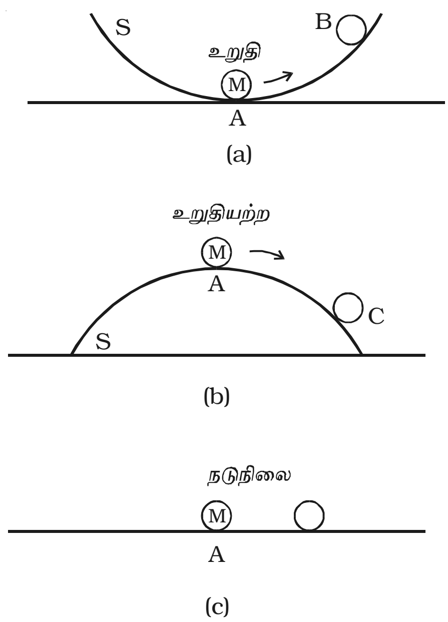


படம் 3.3 ஈர்ப்பின் மையம்

படம் 3.3-ல் $W_1, W_2, W_3.....$ என்பன பொருளில் உள்ள முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது, ... துகள்களின் எடைகளாகும் (படம் 3.3). அனைத்துத் துகள்களின் தொகுபயன் எடை W எனில், W செயல்படக் கூடிய புள்ளி ஈர்ப்பின் மையம் ஆகும். பொருளின் மொத்த எடையும் ஈர்ப்பின் மையம் வழியே செயல்படக் கூடும். பொருளை ஆக்கும் துகள்களின் எடைகள் அவற்றின் நிறைகளுக்கு நேர்த்தகவில் இருப்பதால், பொருளானது புவிக்கு வெளியே அல்லது புவிப்பரப்பிற்கு அருகே இருப்பின், அதன் நிறையின் மையம், ஈர்ப்பின் மையத்துடன் ஒன்றியிருக்கும்.

3.1.4 பொருள்களின் சமநிலையும் வகைகளும்

M என்ற கோலியை S என்ற கிண்ணத்தின் வளைவுப் பரப்பில் வைத்தால், அது உருண்டோடி A என்ற அடிப்புள்ளியில் வந்து சமநிலையை அடையும். (படம் 3.4a) இந்தச் சமநிலைப்புள்ளியானது சிறும நிலைஆற்றலுக்கு உரியதாகும். கோலியை B என்ற புள்ளிக்குக் கொண்டு செல்லும்போது, அதன் ஆற்றல் அதிகரிக்கிறது. அதனை விடுவித்தால் மீண்டும் உருண்டோடி A-க்கு வந்துவிடும். எனவே, கோலியின் A என்ற நிலையை உறுதிச் சமநிலை (Stable equilibrium) எனலாம்.



படம் 3.4 பொருள்களின் சமநிலை

கிண்ணத்தைத் தலைகீழாகக் கவிழ்த்து, அதன் மேற்புள்ளி A-யில் கோலி இருப்பதாகக் கருதுக. (படம் 3.4b). கோலியை C-என்ற புள்ளிக்குச் சிறிதளவு இடம்பெயரச் செய்தாலும், அதன் நிலையாற்றல் குறைந்து, சமநிலைப் புள்ளியிலிருந்து மேலும் நகர்ந்து சென்று சிறும ஆற்றல் உள்ள நிலையை அடையும். கோலியின் இந்த நிலையை உறுதியற்றச் சமநிலை (Unstable equilibrium) எனலாம்.

கோலி, சமதளப் பரப்பில் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கருதவும். (படம் 3.4c). இதனை சிறிதளவு இடம்பெயரச் செய்தாலும், அதன் நிலையாற்றல் மாறாது. இங்கு, கோலி நடுநிலைச் சமநிலையில் (Neutral equilibrium) உள்ளது.

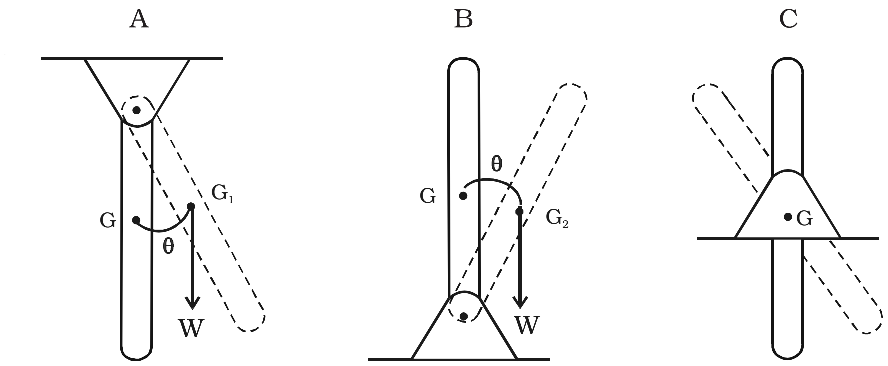
சிறுமம், பெருமம் அல்லது மாறாத நிலையாற்றலைக் கொண்டு, உறுதி, உறுதியற்ற அல்லது நடுநிலை என சமநிலையைக் குறிப்பிடலாம்.

செயல்படும் விசைகள், அமைப்பினை மாற்றும் விதத்தைப் பொருத்து, இயந்திரவியல் அமைப்பின் நிலைத்தன்மையை அறியலாம்.

(i) அமைப்பின் மீது செயல்படும் விசைகள், நிலையாற்றல் சிறுமமாக இருக்கும் தொடக்க நிலைக்கு வருமாறு செய்தால், அது உறுதிச் சமநிலைக்கு உரியதாகும்.

(ii) அமைப்பின் மீது செயல்படும் விசைகள், நிலையாற்றல் பெருமமாக இருக்கும் நிலையிலிருந்து நகரச் செய்தால், அது உறுதியற்ற சமநிலைக்கு உரியதாகும்.

(iii) அமைப்பின்மீது செயல்படும் விசைகள், நிலையாற்றல் மாறாதிருக்குமாறு, எப்படி வேண்டுமானாலும் நகரச் செய்தால், அது நடுநிலைச் சமநிலைக்கு உரியதாகும்.



(a) உறுதிச் சமநிலை (b) உறுதியற்றச் சமநிலை (c) நடுநிலைச் சமநிலை

படம் 3.5 சமநிலையின் வகைகள்

படம் 3.5 a, b, c-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று மூன்று சீரான சட்டங்களைக் கருதுக. ஒவ்வொரு சட்டமும், அவற்றின் சமநிலைப் புள்ளிகளில் இருந்து சிறிதளவு இடம்பெயரச் செய்வதாகக் கருதுவோம். மேல்முனையில் பொருத்தப்பட்ட A என்ற சட்டத்தை இடம்பெயரச் செய்தால், அதன் ஈர்ப்பின் மையம் G-யிலிருந்து G_1-க்கு உயரும். பிறகு, அதனை விடுவித்தால் தொடக்க நிலைக்கு வரும். இதனை உறுதிச் சமநிலை என்கிறோம்.

கீழ் முனையில் பொருத்தப்பட்ட B என்ற சட்டத்தை இடம்பெயரச் செய்தால், அதன் ஈர்ப்பின் மையம் G-யிலிருந்து G_2-க்குத் தாழ்ந்து விடும். அதனை விடுவித்த பிறகும் தொடர்ந்து, தொடக்கப் புள்ளியிலிருந்து விலகிச் செல்லும். இதனை உறுதியற்றச் சமநிலை என்கிறோம்.

ஈர்ப்பின் மையத்திலேயே பொருத்தப்பட்ட C என்ற சட்டத்தை இடம்பெயரச் செய்தால், அதன் ஈர்ப்பின் மையம் மாறாமல் அதே உயரத்தில் இருக்கும். சட்டத்தினை விடுவித்த பிறகும் தொடர்ந்து புதிய நிலையிலேயே இருக்கும். இதனை நடுநிலைச் சமநிலை என்கிறோம்.

3.2 திண்மப் பொருள்களின் சுழல் இயக்கம்

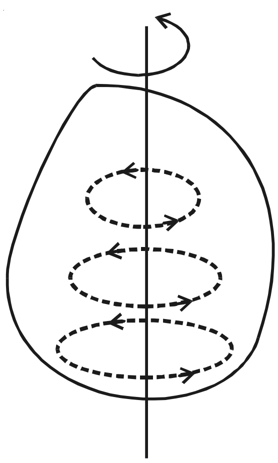
3.2.1 திண்மப் பொருள்

புறவிசைகள் செயல்படும்போது பொருள் ஒன்று, தனது வடிவத்தில் அல்லது பருமனில் மாற்றமடையாமல் இருந்தால், அதனை திண்மப்பொருள் என வரையறுக்கலாம். விசையின் மதிப்பு எவ்வளவு அதிகமாக இருப்பினும், திண்மப் பொருளொன்றின் மீது விசை செயல்படும்போது, பொருளில் எந்த இரு துகள்களுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு மாறாமல் இருக்கும்.

நடைமுறையில், எந்தப் பொருளும் முழுமையான திண்மப் பொருள் அல்ல. புறவிசைகளைச் செயல்படுத்தும்போது, ஒவ்வொரு பொருளும் சிறிதேனும் உருக்குலையும். திடப்பொருளில், புறவிசைகள் ஏற்படுத்தும் மாற்றம் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவில் சிறியதாக இருப்பின், அப்பொருளை திண்மப் பொருளாகக் கருதலாம்.

3.2.2 சுழல் இயக்கம்

நிலையான அச்சைப் பொருத்து பொருளொன்று சுழலுமாயின், அவ்வியக்கத்தைச் சுழல் இயக்கம் என்கிறோம். பொருளொன்றின் ஒவ்வொரு துகளும், சுழற்சியின் அச்சு எனப்படும் நேர்க்கோட்டில் அமைந்த மையத்தைப் பொருத்து வட்டப்பாதையில் இயங்கினால், திண்மப்பொருள் சுழல் இயக்கத்தில் உள்ளது எனப்படும் (படம் 3.6).



சுழற்சியின் அச்சு

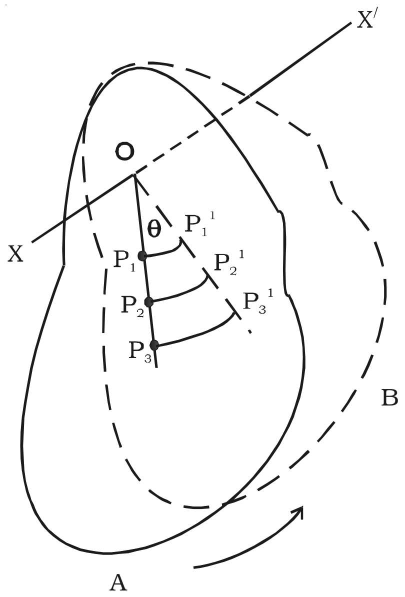
படம் 3.6 சுழல் இயக்கம்

சுழற்சியின் அச்சு, பொருளின் உள்ளே அல்லது வெளியே இருக்கலாம். சுழற்சி அச்சின் மீதமைந்த துகள்கள் நிலையாக இருக்கும்.

வட்டப்பாதையில் இயங்கும் துகள்களின் நிலை r என்ற ஆரவெக்டரினாலும் θ - என்ற கோண இடப் பெயர்ச்சியினாலும் விளக்கப் படுகிறது.

படம் 3.7-ல் காட்டியவாறு, தாளின் (paper) தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும், O-வின் வழியேச் செல்லும் XOX′ என்ற அச்சைப் பொருத்தும் சுழலும் திண்மப்பொருளைக் கருதுக.

பொருள் A என்ற இடத்திலிருந்து B-என்ற இடத்திற்குச் சுழல்வதாகக் கொள்வோம். திண்மப் பொருளில் உள்ள P_1, P_2, P_3. .... என்ற வெவ்வேறு துகள்கள், சமகால இடைவெளிகளில் P_1P_1', P_2P_2', P_3P_3'.... என்ற சமமற்ற தொலைவுகளைக் கடக்கின்றன. ஆகவே, அவற்றின் நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகங்கள் வெவ்வேறாக இருக்கும். ஆனால், அதே கால இடைவெளியில், அவையனைத்தும் θ என்ற சம கோணத்திற்குச் சுழலும். எனவே, திண்மப் பொருளின் அனைத்துத் துகள்களுக்கும் கோணத் திசைவேகம் சமமாக இருக்கும். ஆகவே, சுழல் இயக்கத்தில், உள்ளடங்கிய வெவ்வேறு துகள்கள் மாறுபட்ட நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகங்களையும் சமகோணத் திசைவேகத்தையும் பெற்றிருக்கும்.



படம் 3.7 திண்மப்பொருளின் சுழல் இயக்கம்

3.2.3 சுழல் இயக்கச் சமன்பாடுகள்

நேர்க்கோட்டியக்கத்தைப் போன்றே, சீரான கோண முடுக்கத்தைப் பெற்றிருக்கும் பொருளின் இயக்கச் சமன்பாடுகளை வருவிக்கலாம்.

துகள் ஒன்று, ω_0 என்ற கோணத் திசைவேகத்துடனும் α என்ற கோண முடுக்கத்துடனும் சுழல்வதாகக் கருதுக. t என்ற காலத்தில் துகள் ஏற்படுத்தும் கோண இடப்பெயர்ச்சி θ எனவும் துகளின் கோணத் திசைவேகம் ω எனவும் இருக்கட்டும்.

$\therefore$ t காலத்தில் கோணத் திசைவேக மாறுபாடு $= \omega - \omega_0$

ஆனால், கோண முடுக்கம் = $\dfrac{\text{கோணத் திசைவேக மாறுபாடு}}{\text{காலம்}}$

அதாவது, $$\alpha = \frac{\omega - \omega_o}{t} \qquad ...(1)$$

$$\omega = \omega_o + \alpha t \qquad ...(2)$$

சராசரி கோணத் திசைவேகம் = $\left(\dfrac{\omega + \omega_o}{2}\right)$

மொத்தக் கோண இடப்பெயர்ச்சி = சராசரி கோணத் திசைவேகம் × காலம்

அதாவது, $$\theta = \left(\frac{\omega + \omega_o}{2}\right) t \qquad ...(3)$$

சமன்பாடு (2)-லிருந்து ω-வின் மதிப்பைப் பிரதியிட

$$\theta = \left(\frac{\omega_o + \alpha t + \omega_o}{2}\right) t$$

$$\theta = \omega_o t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad \ldots(4)$$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து $t = \left(\frac{\omega - \omega_o}{\alpha}\right)$ ...(5)

சமன்பாடு(5)-னை (3)-ல் பயன்படுத்த,

$$\theta = \left(\frac{\omega + \omega_o}{2}\right)\left(\frac{\omega - \omega_o}{\alpha}\right) = \frac{\left(\omega^2 - \omega_o^2\right)}{2\alpha}$$

$$2\alpha\,\theta = \omega^2 - \omega_0^2$$

(அல்லது) $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\,\theta$ ...(6)

சமன்பாடுகள் (2), (4) மற்றும் (6) சுழல் இயக்கச் சமன்பாடுகள் ஆகும்.

3.3 நிலைமத் திருப்புதிறன் மற்றும் அதன் முக்கியத்துவம்

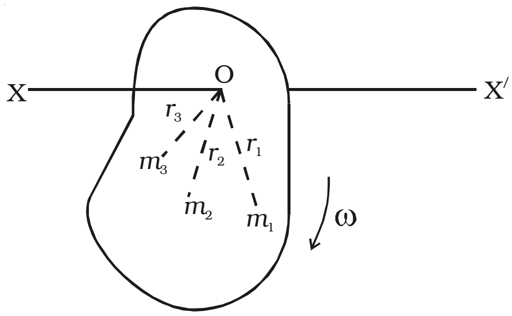
நியூட்டனின் முதல் இயக்க விதியின்படி, புறக்காரணியான விசையொன்று செயல்படாத வரை பொருளொன்று தொடர்ந்து தனது ஓய்வு நிலையை அல்லது சீரான இயக்க நிலையை மாற்றிக்கொள்ள முடியாது. பொருள் தனது ஓய்வு நிலையை அல்லது சீரான இயக்கநிலையைத் தானே மாற்றிக்கொள்ள முடியாத தன்மை நிலைமம் எனப்படும். நிலைமம் என்பது பருப்பொருளின் அடிப்படையான பண்பாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட விசைக்கு, நிறை அதிகமாக இருப்பின், இயக்கத்திற்கான எதிர்ப்பு அதிகமாக இருக்கும் அல்லது நிலைமம் அதிகமாக இருக்கும். ஆகவே, நேர்க்கோட்டியக்கத்தில் நிலைமத்தினை பொருளின் நிறை அளவிடுகிறது.

இதுபோன்றே, சுழல் இயக்கத்திலும், குறிப்பிட்ட அச்சைப் பொருத்து சுழலும் பொருளொன்று, அதன் நிலையில் ஏற்படவேண்டிய மாற்றத்தை எதிர்க்கும். எதிர்ப்பின் அளவு, பொருளின் நிறையையும் சுழலும் அச்சைப் பொருத்த நிறையின் பரவலையும் **(distribution)** சார்ந்தது. சுழல் இயக்கத்தில் நிலைமத்தை, அச்சைப் பற்றிய பொருளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் எனலாம்.

நேர்க்கோட்டியக்கத்தில் நிறை ஆற்றும் பங்கினைப் போன்று சுழல் இயக்கத்தில் நிலைமத் திருப்புத் திறன் பங்காற்றுகிறது. மேலும், சுழலும் நிலையில் மாற்றம் ஏற்படுத்த திருப்பு விசையை செயல்படுத்த வேண்டியுள்ளது.

3.3.1 சுழல் இயக்க ஆற்றலும் திண்மப் பொருளின் நிலைமத் திருப்புத் திறனும்

திண்மப் பொருளொன்று XOX′ என்ற அச்சைப் பொருத்து ω கோணத் திசைவேகத்துடன் சுழல்வதாகக் கருதுக. சுழற்சியின் அச்சிலிருந்து m_1, m_2, m_3... என்ற நிறைகளுடைய துகள்கள் முறையே r_1, r_2, r_3... என்ற தொலைவுகளில் இருப்பதாகக் கருதுக. அனைத்துத் துகள்களின் கோணத் திசைவேகம் சமம். ஆனால், துகள்கள் வெவ்வேறு நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகங்களுடன் சுழல்கின்றன. துகள்களின் நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகங்கள் v_1, v_2, v_3... என இருக்கட்டும்.



படம் 3.8 சுழல் இயக்க ஆற்றலும் நிலைமத் திருப்புத்திறனும்

முதல் துகளின் இயக்க ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

ஆனால், $v_1 = r_1\omega$

$\therefore$ முதல் துகளின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} m_1 (r_1\omega)^2 = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \omega^2$

இது போன்று, இரண்டாவது துகளின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \omega^2$

மூன்றாவது துகளின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} m_3 r_3^2 \omega^2$

சுழலும் திண்மப் பொருளின் இயக்க ஆற்றல், அனைத்துத் துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்களின் கூடுதலுக்குச் சமம் ஆகும்.

சுழல் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}(m_1 r_1^2\omega^2 + m_2 r_2^2\omega^2 + m_3 r_3^2\omega^2 + \ldots\ldots + m_n r_n^2\omega^2)$

$$= \frac{1}{2}\omega^2 (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots\ldots + m_n r_n^2)$$

அதாவது, $E_R = \frac{1}{2}\omega^2 \left(\sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2\right)$ ...(1)

நேர்க்கோட்டியக்கத்தில், இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} mv^2$

மேற்காண் சமன்பாட்டுடன் (1)-ஐ ஒப்பிட, $\sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$ என்பது நிலைமப் பங்கினை வகிக்கிறது என அறிய முடிகிறது. இதுவே, சுழலும் திண் பொருளின், சுழலும் அச்சைப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத் திறனாகும். எனவே, நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

I = நிறை × (தொலைவு)^2

சுழல் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2}\omega^2 I$

$\omega = 1$ rad s^{-1} என்ற போது, சுழல் இயக்க ஆற்றல்,

$= E_R = \frac{1}{2}(1)^2 I$ (அல்லது) $I = 2E_R$

1 ரேடியன்/நொடி கோணத் திசைவேகத்துடன் சுழலும் பொருளின் இயக்க ஆற்றலின் இருமடங்கு நிலைமத் திருப்புத் திறனுக்குச் சமம் ஆகும்.

நிலைமத் திருப்புத் திறனின் அலகு kg m^2. அதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு ML^2.

3.3.2 சுழற்சியின் ஆரம்

சுழலும் திண்மப் பொருளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

$$I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \ldots m_n r_n^2$$

திண்மப் பொருளின் துகள்கள் அனைத்தும் சம நிறையைப் பெற்றிருப்பின், அதாவது $m_1 = m_2 = m_3 = \ldots.. = m$ எனில், மேற்காண் சமன்பாடானது

$$I = mr_1^2 + mr_2^2 + mr_3^2 + \ldots.. + mr_n^2$$

$$= m\,(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + \ldots.. + r_n^2)$$

$$I = nm\left[\frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \ldots.. + r_n^2}{n}\right]$$

இதில் n என்பது, திண்மப் பொருளில் உள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கையாகும்.

$\therefore\ I = MK^2$ … (2)

இதில் $M = nm$ = பொருளின் மொத்த நிறை

மற்றும் $K^2 = \dfrac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \ldots.. + r_n^2}{n}$

$$K = \sqrt{\frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 \ldots\ldots + r_n^2}{n}}$$

K என்பது சுழற்சியின் அச்சைப் பொருத்த திண்மப் பொருளின் சுழற்சியின் ஆரம் ஆகும்.

பொருளின் சுழற்சியின் அச்சிலிருந்து, துகள்களின் இருமடிமூலச் சராசரி இருமடித் தொலைவிற்கு (*rms*) சுழற்சியின் ஆரம் சமமாகும்.

பொருளின் ஒட்டுமொத்த எடையும் செறிந்துள்ள புள்ளிக்கும் சுழற்சி அச்சுக்கும் இடைப்பட்ட செங்குத்துத் தொலைவு எனவும் சுழற்சியின் ஆரத்தை வரையறுக்கலாம்.

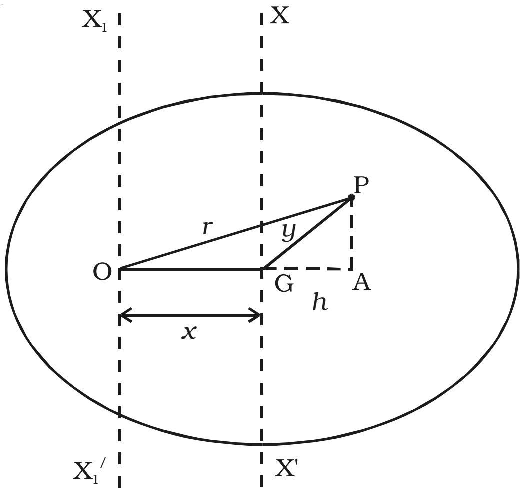
சமன்பாடு (2)-லிருந்து, $K^2 = \frac{I}{M}$ அல்லது $K = \sqrt{\frac{I}{M}}$

3.3.3 நிலைமத் திருப்புத்திறனின் தேற்றங்கள்

(i) இணை அச்சுக்கள் தேற்றம்

கூற்று

பொருளின், எந்தவொரு அச்சைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புத்திறனானது, ஈர்ப்பின் மையம் வழியேச் செல்லும் இணை அச்சைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புத் திறன் மற்றும் பொருளின் நிறையையும் இரு அச்சுக்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவின் இருமடியையும் பெருக்கினால் வரும் பெருக்கற்பலன் ஆகியவற்றின் கூடுதலுக்குச் சமமாகும்.



படம் 3.9 இணை அச்சுக்களின் தேற்றம்

மெய்ப்பித்தல்

படம் 3.9-ல் காட்டியவாறு, ஈர்ப்பின் மையம் G-ல் உள்ள பொருள் ஒன்றைக் கருதுவோம். XX' என்ற அச்சு ஈர்ப்பின் மையம் வழியாகவும் பொருளின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் செல்கிறது. X_1X_1' என்ற அச்சு, புள்ளி O-வழியாகவும் XX' அச்சுக்கு இணையாகவும் செல்கிறது. இரு இணை அச்சுக்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு x ஆகும்.

ஒவ்வொன்றும் m நிறையுள்ள ஏராளமானத் துகள்களாக, பொருளைப் பிரிக்கலாம். O–விலிருந்து r தொலைவில் உள்ள P என்ற துகளின், X_1OX_1' அச்சைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புத் திறன் mr^2 ஆகும்.

X_1X_1' அச்சைப் பற்றி மொத்தப் பொருளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

$$I_0 = \Sigma\, mr^2 \qquad \ldots(1)$$

புள்ளி P-யிலிருந்து, நீட்டப்பட்ட OG-க்கு PA என்ற செங்குத்துக்கோடு வரையவும். P, G-ஐ இணைக்கவும்.

ΔOPA-ல்,

$$OP^2 = OA^2 + AP^2$$
$$r^2 = (x + h)^2 + AP^2$$
$$r^2 = x^2 + 2xh + h^2 + AP^2 \qquad \ldots(2)$$

$\Delta\ GPA$-ல்,

$$GP^2 = GA^2 + AP^2$$
$$y^2 = h^2 + AP^2 \qquad \ldots(3)$$

சமன்பாடு (3)-ஐ (2)-ல் பிரதியிட,

$$r^2 = x^2 + 2xh + y^2 \qquad \ldots(4)$$

சமன்பாடு (4)-ஐ (1)-ல் பிரதியிட,

$$I_o = \Sigma\, m\, (x^2 + 2xh + y^2)$$
$$= \Sigma mx^2 + \Sigma 2mxh + \Sigma my^2$$
$$= Mx^2 + My^2 + 2x\Sigma mh \qquad \ldots(5)$$

பொருளின் ஈர்ப்பின் மையம் வழியே செல்லும் அச்சைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புத்திறன், $My^2 = I_G$ ஆகும். ஈர்ப்பின் மையம் G-ஐப் பொருத்து, பொருள் சமநிலையில் இருப்பதால், ஈர்ப்பின் மையத்தைச் சார்ந்து அனைத்துத் துகள்களின் திருப்பு திறன்களின் கூடுதல் சுழியாகும்.

$$\Sigma\, (mg)\, (h) = 0$$

அல்லது $\Sigma\, mh = 0$ (ஏனெனில் g ஒரு மாறிலி) ...(6)

$\therefore$ சமன்பாடு (5)-லிருந்து

$$I_0 = Mx^2 + I_G \qquad \ldots(7)$$

இவ்வாறு இணை அச்சுகள் தேற்றத்தை மெய்ப்பிக்கலாம்.

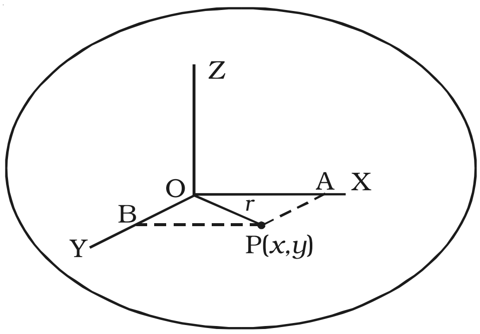
(ii) செங்குத்து அச்சுக்கள் தேற்றம்

கூற்று

ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான மூன்று அச்சுக்கள் பொதுவான புள்ளியில் வெட்டுமாறு இருக்க, சமதள மெல்லிய பரப்புடைய பொருளின் தளத்திற்குச் செங்குத்தான அச்சைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புத் திறனானது, தளத்திலேயே அமைந்த ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான இரு அச்சுகளைப் பற்றிய நிலைமத் திறன்களின் கூடுதலுக்குச் சமம்.

மெய்ப்பித்தல்

படம் 3.10-ல் காட்டியவாறு, தளத்தில் அமைந்த OX மற்றும் OY அச்சுக்கள் உடைய சமதள மெல்லிய பரப்பினைக் கருதவும். OZ என்ற அச்சு, O வழியாகவும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் செல்கிறது. ஒவ்வொன்றும் m நிறையுடைய ஏராளமான துகள்களாக மெல்லிய பரப்பு பிரிக்கப்படுகிறது. O-விலிருந்து r தொலைவில் உள்ள P என்ற துகள், (x, y) கூறுகளைக் கொண்டுள்ளது.



படம் 3.10 செங்குத்து அச்சுக்களின் தேற்றம்

$$\therefore r^2 = x^2+y^2 \qquad ...(1)$$

OZ அச்சைப் பொருத்து துகள் P-யின் நிலைமத் திருப்புத் திறன் = mr^2

OZ அச்சைப் பொருத்து மொத்தப் பரப்பின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

$$I_z = \Sigma mr^2 \qquad ...(2)$$

OX அச்சைப் பொருத்து மொத்தப் பரப்பின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

$$I_x = \Sigma\ my^2 \qquad ...(3)$$

இதேபோன்று, $I_y = \Sigma\ mx^2$ ...(4)

சமன்பாடு (2)-லிருந்து

$$I_z = \Sigma mr^2 = \Sigma m(x^2+y^2)$$

$$I_z = \Sigma mx^2+\Sigma my^2 = I_y+I_x$$

$$\therefore\ I_z = I_x+I_y$$

இவ்வாறு செங்குத்து அச்சுக்களின் தேற்றத்தை மெய்ப்பிக்கலாம்.

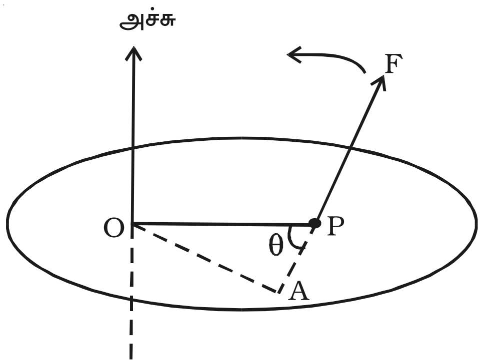
அட்டவணை 3.1 வெவ்வேறு பொருள்களின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்களின் சமன்பாடுகள்

(பின்னிணைப்பில் மெய்ப்பித்தல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது)

பொருள்	**சுழல் அச்சு**	**நிலைமத் திருப்புத் திறன்**	
மெல்லிய சீரான தண்டு	ஈர்ப்புமையத்தின் வழியாக, நீளத்திற்கு நேர் குத்தாக செல்லும் அச்சு.	$\frac{Ml^2}{12}$	M - நிறை l - நீளம்
	ஒரு முனை வழியாக, நீளத்திற்கு நேர் குத்தாக செல்லும் அச்சு	$\frac{Ml^2}{3}$	M - நிறை l - நீளம்
மெல்லிய வட்ட வளையம்	மையத்தின்வழியாக தளத்திற்கு செங்குத்தாக செல்லும் அச்சு.	MR^2	M - நிறை R - ஆரம்
	விட்டத்தின் வழியே செல்லும் அச்சு.	$\frac{1}{2}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
	தொடுகோட்டின் வழியே செல்லும் அச்சு.	$\frac{3}{2}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
வட்டத் தட்டு	மையத்தின்வழியாக தளத்திற்கு செங்குத்தாக செல்லும் அச்சு.	$\frac{1}{2}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
	விட்டத்தின் வழியே செல்லும் அச்சு.	$\frac{1}{4}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
	தொடுகோட்டின் வழியே செல்லும் அச்சு.	$\frac{5}{4}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
திண்ம கோளம்	விட்டத்தின் வழியே செல்லும் அச்சு.	$\frac{2}{5}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
	தொடுகோட்டின் வழியே செல்லும் அச்சு.	$\frac{7}{5}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
திண்ம உருளை	அதன் அச்சு	$\frac{1}{2}MR^2$	M - நிறை R - ஆரம்
	மையத்தின்வழியாக நீளத்திற்கு செங்குத்தாக செல்லும் அச்சு.	$M\left(\frac{R^2}{4}+\frac{l^2}{12}\right)$	M - நிறை R - ஆரம் l- நீளம்

3.4 விசையின் திருப்புத்திறன்

திருகுக் குறடு (Wrench)என்ற கருவியால் செயல்படுத்தப்படும் விசையானது திருகு மரை (nut) ஒன்றை சுழற்றும் அல்லது கீல்களின் மீது (hinges) கதவு சுழலும்போது, விசையானது கதவைத் திறக்கிறது. அதாவது, விசையானது, செயல்படுத்தப்படும் திசையிலேயே பொருளை இயக்குவதோடு மட்டுமல்லாமல், பொருளைச் சுழலுமாறும் செய்கிறது. இச்சுழற்சியின் அச்சு, விசை செயல்படும் கோட்டினை வெட்டவும் செய்யாது; அதற்கு இணையாகவும் இருக்காது. சுழற்சியின் இப்பண்பினை விசையின் திருப்பு விளைவு அல்லது குறிப்பிட்ட அச்சைப் பொருத்த விசையின் திருப்புத்திறன் எனலாம். விசையின் எண் மதிப்பு மற்றும் விசை செயல்படும் கோட்டிலிருந்து இருக்கும் புள்ளியின் செங்குத்துத் தொலைவின் பெருக்கல் மதிப்பாக அப்புள்ளியைப் பொருத்த விசையின் திருப்புத்திறனின் எண்மதிப்பினை வரையறை செய்யலாம்.

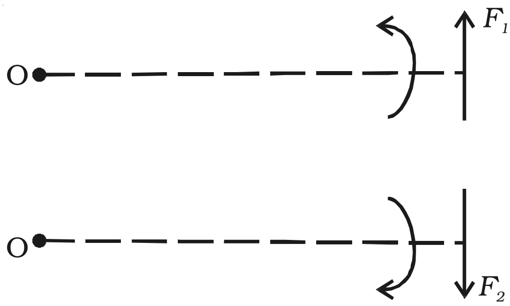


படம் 3.11 விசையின் திருப்புத்திறன்

படம் 3.11-ல் காட்டியவாறு, பொருளின் மீதுள்ள P என்ற புள்ளியில் விசை F செயல்படுவதாகக் கருதுவோம்.

புள்ளி O-வைப் பொருத்து, விசையின் (F) திருப்புத் திறன் = விசையின் எண் மதிப்பு × விசையின் திசைக்கும் திருப்புத்திறன் காண வேண்டிய புள்ளிக்கும் இடையிலான செங்குத்துத் தொலைவு **(F × OA)**

பொருளின் மீது செயல்படும் விசை, O-வைச் சார்ந்து, பொருளை இடஞ்சுழித் திசையில் சுழற்றினால், அத்திருப்புத்திறன் இடஞ்சுழித் திருப்புத்திறன் எனப்படும். விசையானது, பொருளை வலஞ் சுழித் திசையில் சுழற்றினால், அத் திருப்புத்திறன் வலஞ்சுழித் திருப்புத் திறன் எனப்படும் (படம் 3.12). விசையின் திருப்புத்திறனின் அலகு Nm மற்றும் பரிமாண வாய்ப்பாடு $M L^2 T^{-2}$.



படம் 3.12 வலஞ்சுழி மற்றும் இடஞ்சுழித் திருப்புத்திறன்கள்

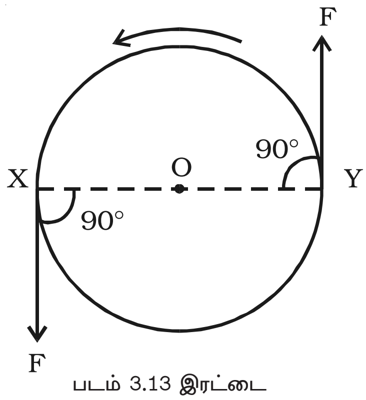
இடஞ்சுழித் திருப்புத்திறனை நேர்க்குறியிலும் வலஞ்சுழித் திருப்புத்திறனை எதிர்க்குறியிலும்

குறிப்பிடுவது வழக்கத்தில் (மரபு) உள்ளது. திருப்புத்திறன்களைக் கூட்டும்போது, ஒவ்வொரு திருப்புத்திறனின் திசையையும் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும்.

வெக்டர் பெருக்கல் முறைப்படி, விசையின் திருப்புத்திறன், $\vec{m} = \vec{r} \times \vec{F}$ எனக் குறிப்பிடப்படும். இதில், $\vec{r}$ என்பது O-வைச் சார்ந்த நிலை வெக்டர் ஆகும். $\vec{r}$ மற்றும் $\vec{F}$ இருக்கும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக $\vec{m}$ -ன் திசை இருக்கும்.

3.5 இரட்டை மற்றும் இரட்டையின் திருப்புத்திறன் (திருப்பு விசை)

பொருளொன்றின் மீது இரு விசைகள் இணைந்து செயல்பட்டு, திருப்புத்திறனை அல்லது திருப்பு விளைவை ஏற்படுத்தக்கூடிய பல எடுத்துக்காட்டுகளை நடைமுறையில் காண்கிறோம். சக்கரம் ஒன்றின் X மற்றும் Y புள்ளிகளில் இரு கம்பிகள் கட்டப்பட்டு, சக்கரத்தின் தொடுகோடுகளின் வழியே இரு சமமான எதிர்விசைகள் **(F)** செயல்படுவதாக இருக்கட்டும் (படம் 3.13). சக்கரம், அதன் மையம் O-வில் பொருத்தப்பட்டிருந்தால், O-வைப் பொருத்து அது இடஞ்சுழித்திசையில் சுழலும்.



படம் 3.13 இரட்டை

செயல்பாட்டின் கோடுகள் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தாமல், செயல்படக்கூடிய இரு சமமான எதிரெதிர் விசைகள் இரட்டையை உருவாக்கும் என இயந்திரவியலில் கூறப்படுவதுண்டு. இந்த இரு விசைகள், எப்போதும் திருப்பு விளைவு அல்லது திருப்புத்திறனைப் பெற்றிருக்கும். இதனைத் திருப்பு விசை எனலாம். இரட்டையை ஏற்படுத்தும் இரு விசைகளின் செயல்பாட்டுக் கோடுகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவை, இரட்டையின் புயம் எனலாம்.

இரட்டையை உருவாக்கும் விசைகள் மற்றும் இரட்டையின் புயத்தின் பெருக்கல் மதிப்பு, இரட்டையின் திருப்புத்திறன் அல்லது திருப்புவிசை எனப்படும்.

திருப்பு விசை = விசைகளில் ஒன்று × விசைகளுக்கு இடையேயான செங்குத்துத் தொலைவு

நேர்க்கோட்டியக்கத்தில் விசையின் பங்கினைப் போன்று சுழல் இயக்கத்தில் திருப்புவிசை பங்கு வகிக்கிறது. விசையினால் ஏற்படும் சுழல் விளைவை அளவிடக்கூடிய ஒரு அளவு திருப்புவிசை எனப்படும். வெக்டர் குறியீட்டின்படி $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

$\theta = 90°$ அதாவது, செயல்படுத்தப்படும் விசையானது $\vec{r}$–க்கு செங்குத்து எனில், திருப்புவிசை பெருமமாகும்.

இரட்டைக்கு எடுத்துக்காட்டுகள்

1. திருகு அழுத்தியின் **(screw press)** கைப்பிடிக்கு செயல்படுத்தப்படும் விசைகள்

2. நீர் வரும் குழாயை மூடுதல் அல்லது திறத்தல்

3. பேனா **(Pen)** மூடியைத் திருப்புதல்

4. காரின் சுழற்றுச் சக்கரம் **(Steering)**

இரட்டையால் செய்யப்பட்ட வேலை

சக்கரம் **(W)** ஒன்றின்மீது தொடுகோடுகளின் வழியே இரு சமமான எதிரெதிர் விசைகள் **(F)** செயல்பட்டு, அதனை θ கோணம் சுழற்றுகிறது. (படம் 3.14)

ஒவ்வொரு விசையும் செய்த வேலை = விசை × தொலைவு = $F \times r\,\theta$

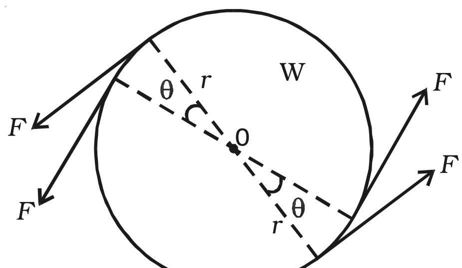
(விளிம்பின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளி நகர்ந்த தொலைவு $r\ \theta$)

மொத்த வேலை, $W = F\,r\,\theta + F\,r\,\theta$

$= 2F\,r\,\theta$

ஆனால், திருப்பு விசை, $\tau = F \times 2r = 2F\,r$

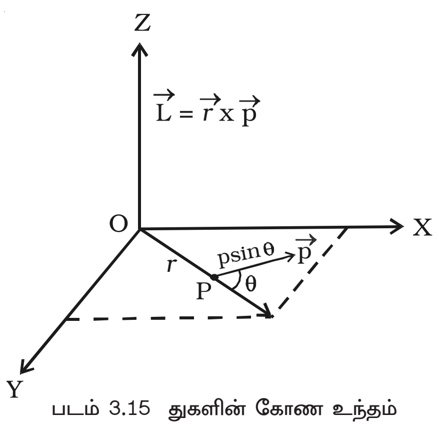
∴ இரட்டையால் செய்யப்பட்ட வேலை, $W = \tau\,\theta$



படம் 3.14 **இரட்டையினால் செய்யப்பட்ட வேலை**

3.6 துகளொன்றின் கோண உந்தம்

நேர்க்கோட்டியக்கத்தில் நேர்க்கோட்டு உந்தத்தைப் போன்றது, சுழல் இயக்கத்தில் கோண உந்தமாகும். நேர்க்கோட்டில் இயங்கும் துகளின் நேர்க்கோட்டு உந்தமானது, அதன் நிறை மற்றும் திசைவேகத்தின் பெருக்கல் மதிப்பாகும். அதாவது, $p = mv$. துகளின் நேர்க்கோட்டு உந்தத்தின் திருப்புத்திறன், அதன் கோண உந்தம் என வரையறுக்கப்படுகிறது.



படம் 3.15 **துகளின் கோண உந்தம்**

ஆதிப்புள்ளியிலிருந்து r தொலைவில் m நிறையுள்ள துகள் இருப்பதாகக் கருதுவோம் (படம் 3.15). அது XY என்ற தளத்தில் v திசைவேகத்துடனும், $\vec{p} = m\vec{v}$

என்ற நேர்க்கோட்டு உந்தத்துடனும் இயங்குவதாக இருக்கட்டும்.

XY தளத்திற்குச் செங்குத்தாக, O-வழியாக செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, துகளின் கோண உந்தம், $\vec{r}$ மற்றும் $\vec{p}$ -ன் குறுக்குப் பெருக்கலாக வரையறுக்கப்படுகிறது.

அதாவது, $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

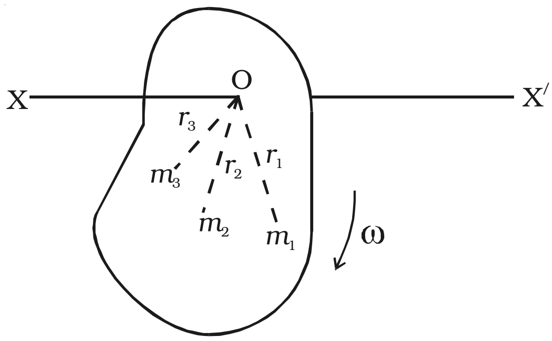
அதன், எண் மதிப்பு $L = r\ p\ sin\ \theta$

இதில் θ என்பது $\vec{r}$ க்கும் $\vec{p}$ க்கும் இடையேயான கோணம் ஆகும். L–ன் திசையானது $\vec{r}$ மற்றும் $\vec{p}$ இருக்கும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக இருக்கும்.

கோண உந்தத்தின் அலகு $kg\ m^2\ s^{-1}$ மற்றும் பரிமாண வாய்ப்பாடு $M\ L^2\ T^{-1}$.

3.6.1 திண்மப் பொருளின் கோண உந்தம்

சுழற்சியின் அச்சிலிருந்து r_1, r_2, ...r_n தொலைவுகளில் உள்ள m_1, m_2 ..... m_n நிறைகள் உடைய துகள்களின் தொகுதியைக் கருதுவோம். (படம் 3.16) v_1, v_2, v_3 ..... என்பன துகள்களின் நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகங்களாகும்.



படம் 3.16 திண்மப் பொருளின் கோண உந்தம்

முதல் துகளின் நேர்க்கோட்டு உந்தம் = $m_1 v_1$

$v_1 = r_1 \omega$ எனில்

முதல் துகளின் நேர்க்கோட்டு உந்தம் = $m_1(r_1\ \omega)$

முதல் துகளின் நேர்க்கோட்டு உந்தத்தின் திருப்புத்திறன்

= நேர்க்கோட்டு உந்தம் × செங்குத்துத் தொலைவு

= $(m_1 r_1 \omega) \times r_1$

முதல் துகளின் கோண உந்தம் = $m_1 r_1^{\ 2} \omega$

இதுபோன்று, இரண்டாவது துகளின் கோண உந்தம் = $m_2 r_2^{\ 2} \omega$

மூன்றாவது துகளின்கோண உந்தம் = $m_3 r_3^{\ 2} \omega$

திண்மப் பொருளின் கோண உந்தம் என்பது, சுழற்சியின் அச்சைப் பொருத்து,

சுழலும் திண்மப் பொருளின் அனைத்துத் துகள்களின் நேர்க்கோட்டு உந்தங்களின் திருப்புத்திறன்களின் கூடுதல் ஆகும்.

∴ சுழலும் திண்மப் பொருளின் கோண உந்தம் = அனைத்துத் துகள்களின் கோண உந்தங்களின் கூடுதல்

அதாவது, $L = m_1 r_1^2\omega + m_2 r_2^2\omega + m_3 r_3^2\omega \ldots + m_n r_n^2\omega$

$$L = \omega\, [m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots\ldots m_n r_n^2]$$

$$= \omega \left[\sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2\right]$$

$$\therefore \quad L = \omega I$$

இதில் $I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$ என்பது சுழற்சியின் அச்சைப் பொருத்து சுழலும் திண்மப் பொருளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் ஆகும்.

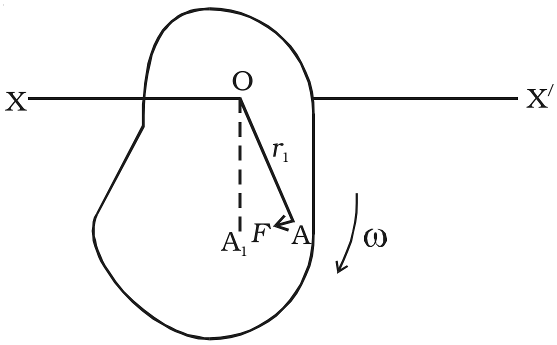
3.7 திருப்பு விசைக்கும் கோண முடுக்கத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

திண்மப் பொருளொன்று XOX′ அச்சைப் பொருத்து ω என்ற கோணத் திசைவேகத்துடன் சுழல்வதாகக் கருதுவோம் (படம் 3.17).

சுழற்சியின் அச்சிலிருந்து r_1 தொலைவில் A-யில் இருக்கும் m_1 நிறையுள்ள துகளின் மீது செயல் படும் விசை = நிறை × முடுக்கம்

$$= m_1 \times \frac{d}{dt}(r_1\omega) = m_1\ r_1\ \frac{d\omega}{dt}$$

$$= m_1\ r_1\ \frac{d^2\theta}{dt^2}$$



படம் 3.17 திருப்பு விசைக்கும் கோண முடுக்கத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

சுழற்சியின் அச்சைப் பொருத்து, இந்த விசையின்

திருப்புத்திறன் = விசை × செங்குத்துத் தொலைவு $= m_1 r_1\ \frac{d^2\theta}{dt^2} \times r_1$

எனவே, அனைத்துத் துகள்களின் மீதும் செயல்படும் அனைத்து விசைகளின் திருப்புத்திறன்களின் கூடுதல்,

$$= m_1 r_1^{\ 2}\ \frac{d^2\theta}{dt^2} + m_2 r_2^{\ 2}\ \frac{d^2\theta}{dt^2} + \ldots$$

$\therefore$ திருப்பு விசை = $\sum_{i=1}^{n} m_i r_i^{\ 2} \times \frac{d^2\theta}{dt^2}$ (அல்லது) $\tau = I\alpha$

இதில் $I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^{\ 2}$, என்பது திண்மப் பொருளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் மற்றும் $\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ என்பது கோண முடுக்கம் ஆகும்.

3.7.1 திருப்பு விசைக்கும் கோண உந்தத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

சுழலும் திண்மப் பொருளின் கோண உந்தம் $L = I\ \omega$

மேற்காண் சமன்பாட்டை காலத்தைச் சார்ந்து வகைகாண,

$\frac{dL}{dt} = I\left(\frac{d\omega}{dt}\right) = I\alpha$ ($\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ என்பது பொருளின் கோண முடுக்கம்)

ஆனால், திருப்பு விசை $\tau = I\alpha$

$\therefore$ திருப்பு விசை, $\tau = \frac{dL}{dt}$

பொருளின் கோண உந்த மாறுபாட்டு வீதம், அதன் மீது செயல்படும் புறத் திருப்பு விசைக்குச் சமம்.

3.8 கோண உந்த அழிவின்மை

சுழலும் திண்மப் பொருளின் கோண உந்தம், $L = I\ \omega$ ஆகும்.

திண்மப் பொருளின் மீது செயல்படும் திருப்பு விசை, $\tau = \frac{dL}{dt}$ ஆகும்.

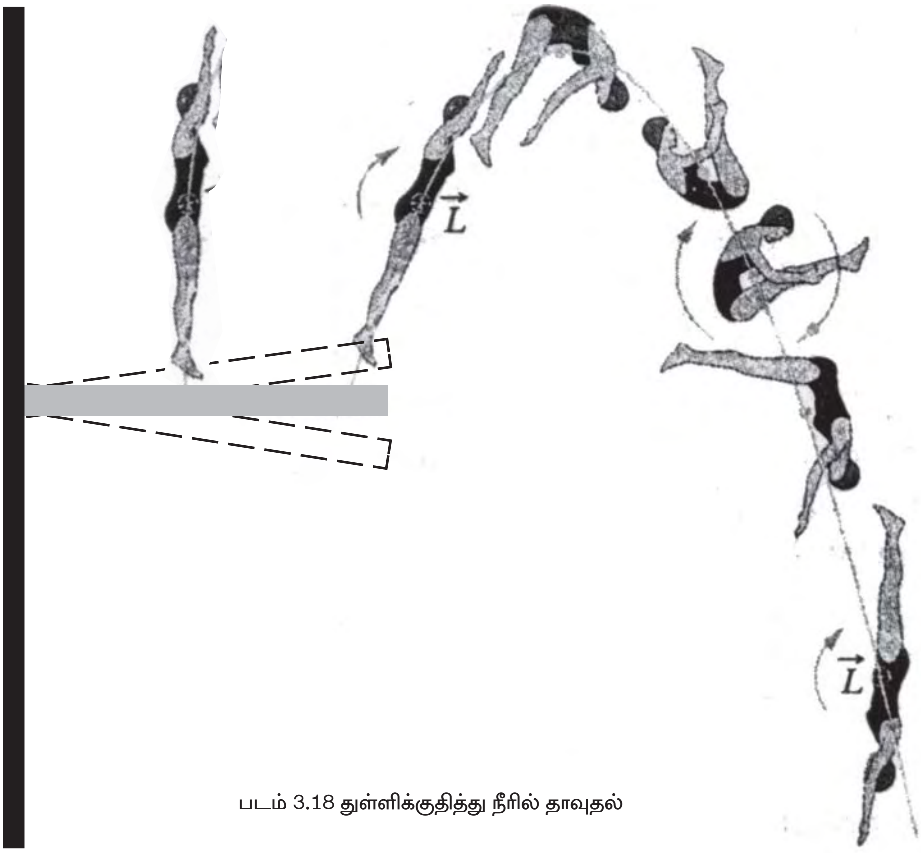
அமைப்பின் மீது புறத்திருப்பு விசை செயல்படவில்லை எனில்,

$$\tau = \frac{dL}{dt} = 0$$

அதாவது $L = I\ \omega =$ மாறிலி

பொருளின் மொத்த கோண உந்தம் = மாறிலி

பொருளின் மீது புறத்திருப்பு விசை செயல்படாதபோது, சுழலும் திண்மப் பொருளின் மொத்த கோண உந்தம் மாறாமலிருக்கும். இது, கோண உந்த அழிவின்மை விதி எனப்படும்.



படம் 3.18 துள்ளிக்குதித்து நீரில் தாவுதல்

கோண உந்த அழிவின்மையை எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்குதல்

கோண உந்த அழிவின்மை விதிப்படி, $I\omega$ = மாறிலி.

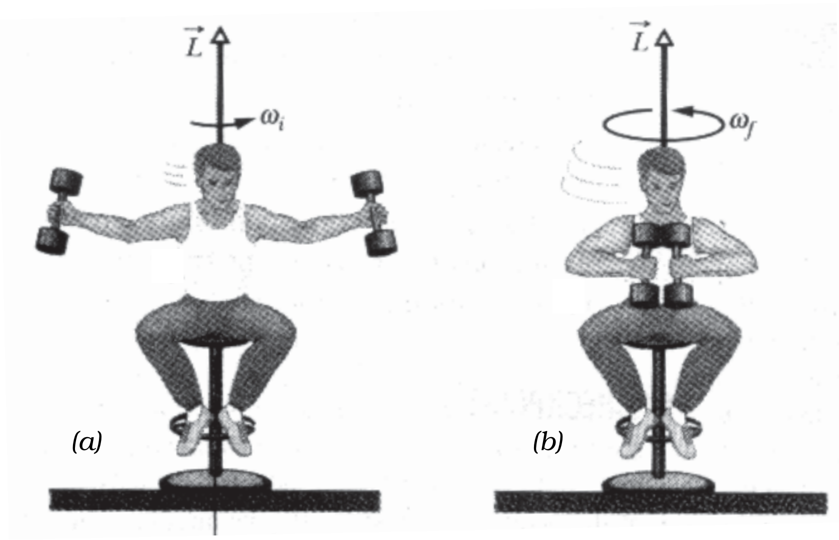
அதாவது, $\omega \propto \frac{1}{I}$, சுழற்சியின் கோணத் திசைவேகம், அமைப்பின் நிலைமத்திருப்புத் திறனுக்கு எதிர்த்தகவில் இருக்கும்.

கோண உந்த அழிவின்மை விதிக்கு கீழ்வருபவை எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

1. சுருள்வில் மீதமைந்த பலகையிலிருந்து, துள்ளிக்குதித்து, நீரில் தாவிப் பாயும் ஒருவர், காற்றில் குட்டிக்கரணமிட்டுக் கொண்டே நீரினுள் செல்வார். ஏனெனில், அவர் தனது உடலை குறுக்குவதன் நிலைமத் திருப்புத்திறன் குறைந்து கோணத் திசைவேகம் அதிகரிக்கிறது. நீரின் பரப்பைத் தொடுகின்றபோது, அவர் தனது கை, கால்களை நீட்டுவதால், நிலைமத் திருப்புத்திறன் அதிகரித்து கோணத் திசைவேகம் குறைகிறது. எனவே, அவர் நீரினுள் சாதாரணத் திசைவேகத்துடன் நுழைகிறார்.

2. பாடல் ஏதுமின்றி நடனமாடுபவர் (ballet dancer), கைகளை மடித்துக் கொள்வதன் மூலம் நிலைமத் திருப்புத் திறனைக் குறைக்கிறார். எனவே, அவரால், தனது கோணத் திசைவேகத்தை அதிகரித்துக் கொள்ள முடிகிறது.

3. கனமான டம்பெல் (dumbell) என்ற உடற்பயிற்சிக் கருவிகளை, தனது இரு கைகளிலும் பிடித்துக் கொண்டு, கைகள் நீட்டப்பட்ட நிலையில், சுழல் மேசையின் மீது அமர்ந்திருப்பவரைப் படம் 3.19a காட்டுகிறது. மேசையானது, குறிப்பிட்ட கோணத் திசைவேகத்துடன் சுழல்கிறது. படம் 3.19b-ல் காட்டியவாறு, அவர், திடீரென, எடைகளை தனது மார்புக்கருகே கொண்டு வருகிறார். தற்போது, சுழலும் வேகம் அதிகரிப்பதைக் காணலாம்.



படம் 3.19 சுழல் மேசையின் மீது சுழல்பவர்

4. சூரியனைச் சுற்றி வரும் சுற்றுப்பாதையில், கோள் ஒன்று சூரியனுக்கருகில் செல்லும்போது, கோளின் கோணத் திசைவேகம் அதிகரிக்கும். ஏனெனில், சூரியனைப் பொருத்து, கோளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் குறைகிறது.

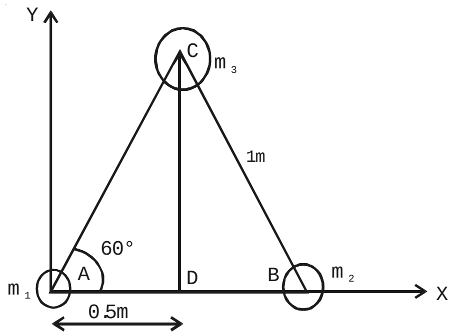
தீர்க்கப்பட்ட கணக்குகள்

3.1 நிறையற்ற தண்டு ஒன்றில் இணைக்கப்பட்ட இரு நிறைகள் அடங்கிய தொகுதி ஒன்று X-அச்சில் உள்ளது. $x = 2$ m தொலைவில் 0.4 kg நிறையும் $x = 7$ m தொலைவில் 0.6 kg நிறையும் உள்ளன. நிறையின் மையத்தின் X கூறினைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $m_1 = 0.4$ kg ; $m_2 = 0.6$ kg ; $x_1 = 2$ m ; $x_2 = 7$ m ; $x = ?$

தீர்வு : $x = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2} = \frac{(0.4\times 2)+(0.6\times 7)}{(0.4+0.6)} = 5\ m$

3.2 பக்கம் 1m உடைய சமபக்க முக்கோணத்தின் மூலைகளில் $m_1 = 1$ kg, $m_2 = 2$ kg, $m_3 = 3$ kg நிறைகள் வைக்கப்பட்டிருக்கும் அமைப்பின் ஈர்ப்பின் மையத்தைக் குறிப்பிடுக.



தகவல் : $m_1 = 1$ kg ;

$m_2 = 2$ kg; $m_3 = 3$ kg ;

A-ன் திசைக் கூறுகள் = (0,0)

B–ன் திசைக் கூறுகள் = (1,0),

அமைப்பின் ஈர்ப்பின் மையம் = ?

தீர்வு : ஒரு மீட்டர் பக்கமுள்ள சமபக்க முக்கோணம் ஒன்றை கருதுக. படத்தில் காட்டியவாறு, X மற்றும் Y அச்சுக்களை கருதுக.

C–ன் கூறுகளைக் கணக்கிட :

சமபக்க முக்கோணத்திற்கு, $\angle CAB = 60°$

முக்கோணம் ADC–யைக் கருதுக,

$\sin\theta = \frac{CD}{CA}$ அல்லது $CD = (CA)\ \sin\theta = 1\times \sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$

படத்திலிருந்து C-ன் கூறுகள் $(0.5, \frac{\sqrt{3}}{2})$,

$$x = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$x = \frac{(1\times 0)+(2\times 1)+(3\times 0.5)}{(1+2+3)} = \frac{3.5}{6} m$$

$$y = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$y = \frac{(1\times0)+(2\times0)+\left(3\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{6} = \frac{\sqrt{3}}{4}m$$

3.3 m நிறையும் r ஆரமும் உடைய வட்டத்தட்டு ஒன்று மேசையின் மீது உருண்டோடச் செய்யப்படுகிறது. அதன் கோணத் திசைவேகம் ω எனில், மொத்த ஆற்றல் $E = \frac{3}{4} mr^2\omega^2$ எனக் காட்டுக.

தீர்வு : தட்டின் மொத்த ஆற்றல் = சுழல் இயக்க ஆற்றல் + நேர்க்கோட்டு இயக்க ஆற்றல்

$$\therefore\ E = \frac{1}{2}\ I\omega^2 + \frac{1}{2}\ mv^2 \qquad ...\ (1)$$

ஆனால், $I = \frac{1}{2}mr^2$ மற்றும் $v = r\omega$ ... (2)

சமன்பாடை (2)-ஐ (1)ல் பிரதியிட,

$$E = \frac{1}{2}\times \frac{1}{2}(\ mr^2)\ (\omega^2) + \frac{1}{2} m\ (r\omega)^2 = \frac{1}{4}mr^2\omega^2 + \frac{1}{2}mr^2\omega^2$$

$$= \frac{3}{4}mr^2\omega^2$$

3.4 1 kg நிறையும் 0.6 m விட்டமும் உடைய மெல்லிய உலோக வளையம் ஒன்று, ஓய்வு நிலையிலிருந்து சாய்வுத் தளத்தில் உருண்டோடி வருகிறது. தளத்தின் அடிப்பகுதியை அடையும்போது வளையத்தின் நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம் $5\ m\ s^{-1}$ எனில், (i) வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் மற்றும் (ii) சுழற்சியின் இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $R = 0.3\ m$; $M = 1\ kg$; $v = 5\ m\ s^{-1}$; $I = ?$ இ.ஆ = ?

தீர்வு : $I = MR^2 = 1 \times (0.3)^2 = 0.09\ kg\ m^2$

இ.ஆ $= \frac{1}{2}\ I\omega^2$

$v = r\omega\ ;\ \omega = \frac{v}{r}$; இ.ஆ $= \frac{1}{2} \times 0.09 \times \left(\frac{5}{0.3}\right)^2 = 12.5\ J$

3.5 200 kg நிறையுடைய திண்ம உருளை ஒன்று அதன் அச்சைப் பொருத்து $100\ s^{-1}$ கோணத் திசைவேகத்துடன் சுழல்கிறது. உருளையின் ஆரம் 0.25 m. உருளையின் சுழற்சியுடன் தொடர்புடைய இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக. உருளையின் கோண உந்தத்தின் எண்மதிப்பையும் கணக்கிடுக.

தகவல் : $M = 200\ kg$; $\omega = 100\ s^{-1}$; $R = 0.25$ metre ; $E_R = ?$; $L = ?$

தீர்வு : $I = \frac{MR^2}{2} = \frac{200 \times (0.25)^2}{2}$ $= 6.25\ kg\ m^2$

இ.ஆ $= \frac{1}{2} I\,\omega^2 = \frac{1}{2} \times 6.25 \times (100)^2$

E_R $= 3.125 \times 10^4\ J$

$L = I\omega$ $= 6.25 \times 100 = 625\ kg\ m^2\ s^{-1}$

3.6 100 g நிறையும் 100 cm நீளமும் உடைய தண்டு ஒன்றின் நீளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் ஈர்ப்பின் மையம் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்த சுழற்சியின் ஆரத்தைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $M = 100\ g = 0.1\ kg$

$l = 100\ cm = 1\ m$

$K = ?$

தீர்வு : நீளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும், ஈர்ப்பின் மையம் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து தண்டின் நிலைமத் திருப்புத் திறன் $= I = MK^2 = \frac{ML^2}{12}$

அல்லது $K^2 = \frac{L^2}{12}$ அல்லது $K = \frac{L}{\sqrt{12}} = \frac{1}{\sqrt{12}} = 0.2886\ m.$

3.7 100 g நிறையும் 10 cm ஆரமும் உடைய வட்டத் தட்டு ஒன்று, அதன் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, 1 நொடியில் 2 சுழற்சிகளை ஏற்படுத்துகிறது. அதன் இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $M = 100\ g = 0.1\ kg\ ;\ R = 10\ cm = 0.1\ m\ ;\ n = 2$

சுழற்சியின் இயக்க ஆற்றல் = ?

தீர்வு : ω = கோணத் திசைவேகம் $= 2\pi n = 2\pi \times 2 = 4\pi$ rad / s

சுழற்சியின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} I\,\omega^2$

$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times MR^2\,\omega^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\ (0.1) \times (0.1)^2 \times (4\pi)^2$

$= 3.947 \times 10^{-2}\ J$

3.8 மோட்டார் ஒன்றில் உள்ள சுழல்சக்கரம், ஓய்வு நிலையிலிருந்து 10 நொடிகளில் 100 rad/s கோணத் திசைவேகத்தை அடைகிறது. **(i)** கோண முடுக்கத்தையும் **(ii)** 10 நொடிகளில் ஏற்படும் கோண இடப்பெயர்ச்சியையும் கணக்கிடுக.

தகவல் : $\omega_o = 0\ ;\ \omega = 100\ rad\ s^{-1}$

$t = 10\ s$ $\alpha = ?$

தீர்வு : சுழல் இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து $\omega = \omega_0 + \alpha t$

(அல்லது) $\alpha = \frac{\omega - \omega_o}{t} = \frac{100 - 0}{10} = 10 \text{ rad } s^{-2}$

கோண இடப்பெயர்ச்சி $\theta = \omega_o t + \frac{1}{2} \alpha t^2$

$$= 0 + \frac{1}{2} \times 10 \times 10^2 = 500 \ rad$$

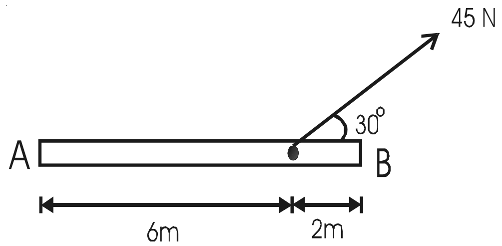
3.9 5 cm ஆரமுடைய வட்டத் தட்டு ஒன்றின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் 0.02 kg m^2. அதன் பரப்பின் தொடுகோட்டுத் திசையில் 20 N விசை செயல்படுத்தப்பட்டால், ஏற்படும் கோண முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $I = 0.02 \text{ kg } m^2$; $r = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$; $F = 20 \text{ N}$; $\tau = ?$

தீர்வு : திருப்புவிசை $= \tau = F \times 2r = 20 \times 2 \times 5 \times 10^{-2} = 2 \text{ N m}$

கோண முடுக்கம் $= \alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{2}{0.02} = 100 \ rad / s^2$

3.10 படத்தில், A–வைப் பொருத்து 45N விசையின் திருப்புத்திறன் என்ன?



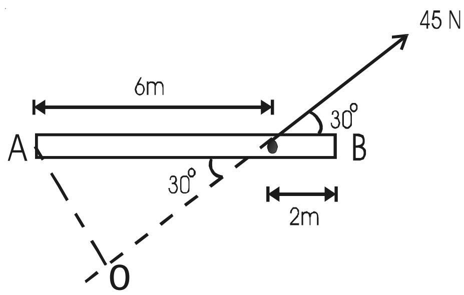
தகவல் : விசை $F = 45 \text{ N}$; A-வைப் பொருத்து விசையின் திருப்புத்திறன் = ?

தீர்வு : A-வைப் பொருத்து விசையின் திருப்புத்திறன்

= விசை × செங்குத்துத் தொலைவு

$= F \times AO$

$= 45 \times 6 \sin 30 = 135 \text{ N m}$



தன் மதிப்பீடு

(இந்தத் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள வினாக்களும் கணக்குகளும் மாதிரிகளே. இவற்றைப்போன்று, பாடப் பொருளிலிருந்து எந்தவொரு வினாவையும் அல்லது கணக்கினையும் வடிவமைக்கலாம். மாணவ, மாணவியர் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியிலிருந்து மட்டுமல்லாமல், பாடப் பொருளிலிருந்தும் வடிவமைக்கப்படக்கூடிய வினாக்களுக்கும் கணக்குகளுக்கும் விடையளிக்க ஆயத்தம் செய்து கொள்ள வேண்டும்.)

3.1 கடிகாரத்தில், நிமிட முள்ளின் கோண வேகம்.

(a) $\pi/21600$ rad s^{-1} (b) $\pi/12$ rad s^{-1}

(c) $\pi/3600$ rad s^{-1} (d) $\pi/1800$ rad s^{-1}

3.2 பொருளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் பங்காற்றுவது

(a) நேர்க்கோட்டியக்கத்தில் (b) சுழல் இயக்கத்தில்

(c) எறியத்தின் இயக்கத்தில் (d) சீரலைவு இயக்கத்தில்

3.3 நேர்கோட்டியக்கத்தின் நிறைக்குச் சமமான சுழல் இயக்க அளவு

(a) எடை (b) நிலைமத்திருப்புத்திறன்

(c) திருப்புவிசை (d) கோண உந்தம்.

3.4 பொருளின் நிலைமத்திருப்புத்திறன் எதனைச் சார்ந்ததல்ல?

(a) கோணத்திசைவேகம் (b) நிறை

(c) சுழற்சியின் அச்சு (d) நிறையின் பரவல்

3.5 m நிறையும் r ஆரமும் உள்ள வட்ட வளையம், தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, ω கோணத் திசைவேகத்துடன் சுழல்கிறது. அதன் இயக்க ஆற்றல்

(a) $mr\omega^2$ (b) $\frac{1}{2}mr\omega^2$

(c) $I\omega^2$ (d) $\frac{1}{2}I\omega^2$

3.6 M நிறையும் R ஆரமும் உடைய வட்டத் தட்டு ஒன்றின், தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத்திறன்

(a) $\frac{1}{2}MR^2$ (b) MR^2

(c) $\frac{1}{4}MR^2$ (d) $\frac{5}{4}MR^2$

3.7 கோண உந்தம் என்பது எவற்றின் வெக்டர் பெருக்கல் ஆகும்?

(a) நேர்க்கோட்டு உந்தம் மற்றும் ஆரவெக்டர்

(b) நிலைமத் திருப்புத்திறன் மற்றும் கோணத் திசை வேகம்

(c) நேர்கோட்டு உந்தம் மற்றும் கோணத் திசைவேகம்

(d) நேர்க்கோட்டுத் திசைவேகம் மற்றும் ஆரவெக்டர்

3.8 கோண உந்த மாறுபாட்டு வீதம் எதற்குச் சமம்?

(a) விசை (b) கோண முடுக்கம்

(c) திருப்புவிசை (d) நிலைமத் திருப்புத்திறன்

3.9 பொருளின் கோண உந்தமானது

(a) எப்போதும் மாறாது

(b) மாற்றமடைந்து கொண்டே இருக்கும்

(c) புறத்திருப்புவிசை இல்லாதபோது மாறாது

(d) புறத்திருப்பு விசை உள்ளபோது மாறாது

3.10 கைகள் நீட்டப்பட்ட நிலையில், சுழலும் நாற்காலியின் மீது அமர்ந்திருக்கும் ஒருவர், திடீரென கைகளை மடக்கும்போது, கோணத் திசைவேகம்

(a) குறையும் (b) அதிகமாகும்

(c) சுழியாகும் (d) மாறாமலிருக்கும்

3.11 சுருள்வில் மீதமைந்த பலகையின் மீதிருந்து துள்ளிக் குதிக்கும் நீச்சல் வீரர், நீரின் மீது விழுமுன், காற்றில் பல குட்டிக்கரணங்களிடும்போது, மாறாதது எது?

(a) நேர்க்கோட்டு உந்தம் (b) நிலைமத் திருப்புத்திறன்

(c) இயக்க ஆற்றல் (d) கோண உந்தம்

3.12 இரு துகள் அமைப்பின் நிறை மையத்தின் நிலைக்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக.

3.13 அமைப்பொன்றின் நிறையின் மையம் இயங்குவதை எடுத்துக்காட்டுடன் விளக்குக.

3.14 சமநிலையின் வகைகள் யாவை?

3.15 சுழல் இயக்கத்தின் சமன்பாடுகளை வருவி.

3.16 நேர்க்கோட்டு இயக்கத்தையும் சுழல் இயக்கத்தையும் ஒப்பிடுக.

3.17 நிலைமத் திருப்புத் திறனின் முக்கியத்துவத்தை விளக்குக.

3.18 சுழலும் பொருளொன்றின் நிலைமத் திருப்புத்திறன், சுழற்சியின் இயக்க ஆற்றலின் இரு மடங்கிற்குச் சமம் எனக் காட்டுக.

3.19 இணை அச்சுக்கள் தேற்றம் மற்றும் செங்குத்து அச்சுக்கள் தேற்றத்தைக் கூறி மெய்ப்பிக்கவும்.

3.20 வட்ட வளையத்தின் (i) தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து (ii) விட்டத்தைப் பொருத்து, (iii) தொடுகோட்டைப் பொருத்து நிலைமத் திருப்புத்திறனின் கோவைகளைப் பெறுக.

3.21 வட்டத் தட்டின் (i) தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து (ii) விட்டத்தைப் பொருத்து (iii) தளத்தில் தொடுகோட்டைப் பொருத்து (iv) தளத்திற்குச் செங்குத்தான தொடுகோட்டைப் பொருத்து நிலைமத் திருப்புத்திறனின் கோவைகளைப் பெறுக.

3.22 சுழலும் திண்மப் பொருளின் கோண உந்தத்தின் கோவையைப் பெறுக.

3.23 கோண உந்த அழிவின்மை விதியைக் கூறுக.

3.24 பூனை கீழே விழும்போது, அதன் கால்கள் தரையில் பதிகின்றன. இயற்பியலின் எந்தத் தத்துவம் பயன்படுகிறது? விளக்குக.

கணக்குகள்

3.25 ஏற்றம் இறக்கம் கருவியில் **(Seesaw)** ஒரு முனையில் 45 kg நிறையுடைய ஒருவரும் மறு முனையில் 15 kg நிறையுடைய சிறுவனும் அமர்ந்துள்ளனர். அவர்களுக்கிடையே 4 m தொலைவு இருப்பின், சிறுவனிடமிருந்து நிறையின் மையம் அமைந்துள்ள தொலைவு எது? ஏற்றம் இறக்கம் கருவியின் எடை புறக்கணிக்கத்தக்கது.

3.26 0.5 m பக்கமுடைய சமபக்க முக்கோணமொன்றின் மூலைகளில் 2 kg, 4 kg, 6 kg நிறைகளுடைய மூன்று பொருள்கள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. 2 kg பொருளை ஆதிப்புள்ளியிலும், 4 kg பொருள் நேர்க்குறி x-அச்சிலும் இருக்கக்கூடிய அமைப்பின் நிறைமையக் கூறுகளைக் கணக்கிடுக.

3.27 $a = 1$ m, $b = 2$ m பக்கங்கள் உடைய செவ்வகமொன்றின் நான்கு மூலைகளில் 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg நிறைகள் உடைய நான்கு பொருள்கள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. நிறையின் மையத்தைக் குறிப்பிடுக. (அமைப்பின் ஆதிப்புள்ளியில் 1 kg நிறையும், நேர்க்குறி x-அச்சில் 2 kg பொருளும், y அச்சில் 4 kg பொருளும் இருப்பதாகக் கருதவும்).

3.28 டம்பெல் **(dumbbell)** வடிவ கார்பன் மோனாக்சைடு (CO) மூலக்கூறில், கார்பன் அணுவிற்கும் ஆக்சிஜன் அணுவிற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு d எனில், கார்பன் அணுவிலிருந்து, மூலக்கூறின் ஈர்ப்பின் மையம் உள்ள தொலைவைக் கணக்கிடுக. கார்பனின் அணுநிறை 12 amu மற்றும் ஆக்சிஜனின் அணு நிறை 16 amu. (1 amu = 1.67×10^{-27} kg)

3.29 உராய்வற்ற கிடைத்தள மேசையின் மீது, 50 g நிறையும் 2 cm விட்டமும் உடைய திட கோளம் ஒன்று நேர்க்கோட்டில் 5 m s^{-1} சீரான திசைவேகத்துடன் உருண்டோடும்போது, இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

(குறிப்பு : $E_K = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2$)

3.30 2 kg நிறையுள்ள சக்கரம் ஒன்று நொடிக்கு 6 சுழற்சிகள் மேற்கொள்கிறது. சக்கரத்தின் சுழற்சியின் ஆரம் 0.22 m எனில் சுழல் இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

3.31 சாடி (Jar) ஒன்றின் மூடியின் விட்டம் 8 cm. அதனைத் திருப்ப, 20 N மதிப்புடைய இரு சம, எதிரெதிர் விசைகள் மூடியின் விளிம்பிற்கு இணையாக செயல்படுத்தப்படுகின்றன. செயல்படுத்தப்பட்ட திருப்பு விசையின் எண்மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

விடைகள்

3.1	(d)	**3.2**	(b)	**3.3**	(b)
3.4	(a)	**3.5**	(d)	**3.6**	(a)
3.7	(a)	**3.8**	(c)	**3.9**	(c)
3.10	(b)	**3.11**	(d)		

3.25 3 m தொலைவில் **3.26** 0.2916 m, 0.2165 m

3.27 0.5 m, 1.4 m **3.28** $\frac{16\,d}{28}$

3.29 0.875 J **3.30** 68.71 J

3.31 1.6 N m

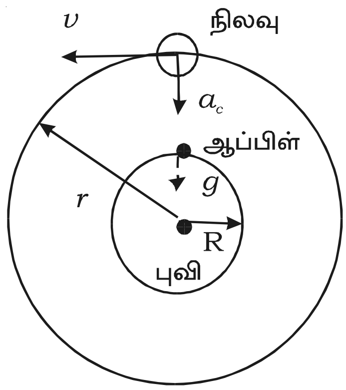
4. ஈர்ப்பியலும் விண்வெளி அறிவியலும்

புவியின் ஈர்ப்பு காரணமாகத் தடையின்றி கீழே விழும் பொருளின் இயக்கவியலைப் பற்றி ஏற்கனவே கற்றறிந்துள்ளோம். ஈர்ப்பியல் விசை, மின்காந்த விசை, அணுக்கரு விசை போன்றவை இயற்கையின் அடிப்படை விசைகளாகும். அவற்றில் மிகவும் வலிமை குறைந்தது ஈர்ப்பியல் விசையேயாகும். ஆனால், இவ்விசையானது, விண்மீனின் தோற்றம், கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகளைக் கட்டுப்படுத்துதல், அண்டத்தின் தோற்றம் போன்றவற்றில் முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறது.

புவியின் மீது பொருள்கள் விழுவது, பருப்பொருளின் இயல்பான பண்பு என 17-ஆம் நூற்றாண்டுக்கு முன்னர் வரை அறிவியலாளர்கள் நம்பினர். தடையின்றித் தானே விழும் பொருள்களைப் பற்றி கலிலியோ முறையான ஆய்வினைச் செய்தார்.

4.1 நியூட்டனின் ஈர்ப்பியல் விதி

இங்கிலாந்து நாட்டில், கேம்பிரிட்ஜ் நகரில், ட்ரினிட்டி கல்லூரியில் (Trinity College) பயின்ற மாணவர்களுக்கு, கோள்கள், நிலவு மற்றும் சூரியனின் இயக்கம் பற்றி அறிந்து கொள்ளும் ஆவல் இருந்தது. ஐசக் நியூட்டன் என்பவரும் அந்த மாணவர்களில் ஒருவர். ப்ளேக் (plague) என்ற கொடிய நோய் காரணமாக 1665-ஆம் ஆண்டு, கல்லூரி காலவரம்பின்றி மூடப்பட்டது. 23 வயதான நியூட்டன் லிங்கான்ஷயரில் (lincolnshire) உள்ள தனது வீட்டிற்குத் திரும்பினார். வீட்டிற்கு வந்த பிறகும் கோள்கள் மற்றும் நிலவின் இயக்கம் பற்றிய சிந்தனையிலேயே இருந்தார். ஒரு நாள், நியூட்டன் தனது நண்பர்களுடன் ஆப்பிள் மரத்தின் கீழ் அமர்ந்து தேநீர் அருந்திக் கொண்டிருந்தார். அப்போது, ஆப்பிள் ஒன்று கீழே விழக் கண்டார். இந்த நிகழ்ச்சி, கீழே விழும் பொருள்கள் பற்றிய அவரின் ஆராய்ச்சியைத் தூண்டியது. ஆப்பிள் ஒன்றை ஈர்க்கும் புவியின் ஈர்ப்பு விசையே, நிலவினையும் ஈர்த்து, சுற்றுப்பாதையில் வைத்திருக்கிறது என்று முடிவு செய்தார். சுற்றுப்பாதையில் நிலவின் மைய நோக்கு முடுக்கமும் புவியின் மீது விழும் பொருளின் கீழ் நோக்கிய முடுக்கமும் ஒரே தோற்றத்தை (origin) உடையனவாகும். நிலவின் பாதை வட்டப்பாதை என்று கருதி, அதன் மைய நோக்கு முடுக்கத்தைப் நியூட்டன் கணக்கிட்டார் (படம் 4.1).



படம் 4.1 நிலவின் முடுக்கம்

புவிப் பரப்பின் மீது ஈர்ப்பின் முடுக்கம், $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$

நிலவின் மீது மைய நோக்கு முடுக்கம், $a_c = \frac{v^2}{r}$

இங்கு, r என்பது நிலவின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் (3.84×10^8 m) மற்றும் v என்பது நிலவின் வேகம்.

புவியைச் சுற்றும் நிலவின் சுற்றுக் காலம், $T = 27.3$ நாள்கள்.

நிலவின் பாதையில், அதன் வேகம், $v = \frac{2\pi r}{T}$

$$v = \frac{2\pi \times 3.84 \times 10^8}{27.3 \times 24 \times 60 \times 60}$$

$$v = 1.02 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

∴ மையநோக்கு முடுக்கம்,

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(1.02 \times 10^3)^2}{3.84 \times 10^8}$$

$$a_c = 2.7 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$$

நிலவும் ஆப்பிளும், புவியின் மையத்தை நோக்கி முடுக்கப்படுகின்றன என நியூட்டன் கருதினார். ஆனால், அவற்றின் இயக்கங்கள் மாறுபடுகின்றன. ஏனெனில், நிலவிற்கு தொடுகோட்டு திசைவேகம் உண்டு ஆனால், ஆப்பிளுக்கு இல்லை.

a_c-யின் மதிப்பு g-யின் மதிப்பைவிடக் குறைவாக இருப்பதை அறிந்த நியூட்டன், புவியின் மையத்திலிருந்து தொலைவு அதிகரித்தால் புவியின் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி குறைகிறது என்ற முடிவிற்கு வந்தார். இந்த முடுக்கம், எனவே, விசையானது புவியின் மையத்திலிருந்து உள்ள தொலைவின் இரு மடிக்கு எதிர்த்தகவில் இருக்கிறது என அவர் கருதினார். நிலவின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் r என்பது புவியின் ஆரத்தைப் போல் ஏறத்தாழ 60 மடங்கு இருப்பதால், a_c-யின் மதிப்பு, g-ன் மதிப்பில் $1/3600$ பங்கு என நியூட்டன் கண்டறிந்தார்.

a_c-ன் மதிப்பு கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடப்பட்டது.

$$\frac{a_c}{g} = \frac{1/r^2}{1/R^2} = \left(\frac{R}{r}\right)^2 = \left(\frac{1}{60}\right)^2 = \frac{1}{3600}$$

$$\therefore \quad a_c = \frac{g}{3600} = \frac{9.8}{3600}$$

$$= 2.7 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$$

இரு பொருள்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்த் தகவில் ஈர்ப்பியல் விசை மாறக்கூடும் என்ற கருத்தை நியூட்டன் தெரிவித்தார். இந்தக் கவர்ச்சி விசையானது. எந்த இரு பொருள்களுக்கும், அண்டத்தில் எங்கிருப்பினும் செயல்படக்கூடிய ஒரு பொதுக் (universal) கவர்ச்சி என்ற உண்மையை நியூட்டன் அறிந்து கொண்டு, பொது ஈர்ப்பியல் விதியை உருவாக்கினார்.

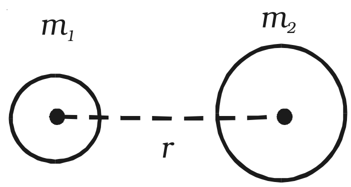
அண்டத்தில் உள்ள பருப்பொருளின் ஒவ்வொரு துகளும் மற்றொரு துகளை, அவற்றின் நிறைகளின் பெருக்கற் பலனுக்கு நேர்த்தகவிலும் அவற்றிற்கிடையேயான தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்த்தகவிலும் இருக்கும் விசையுடன் கவருகின்றன. இக்கூற்று பொது ஈர்ப்பியல் விதி எனப்படும்.

m_1 மற்றும் m_2 நிறைகளுடைய இரு பொருள்களின் மையங்கள் r தொலைவில் இருப்பதாகக் கருதுக. அவற்றிற்கிடையேயான ஈர்ப்பியல் விசை,

$$F \propto m_1 m_2$$

$$F \propto 1/r^2$$

$$\therefore F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



படம் 4.2 ஈர்ப்பியல் விசை

$F = G \dfrac{m_1 m_2}{r^2}$, இங்கு G என்பது பொது ஈர்ப்பியல் மாறிலி ஆகும்.

$m_1 = m_2 = 1$ kg மற்றும் $r = 1$ m, எனில், $F = G$.

அதாவது, ஒவ்வொன்றும் 1 kg நிறையுடைய இரு பொருள்களுக்கிடையே 1 m தொலைவு இருக்கும் போது, அவற்றிற்கிடையேயான, ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசை ஈர்ப்பியல் மாறிலி 'G' என வரையறுக்கப்படுகிறது. G–ன் மதிப்பு 6.67×10^{-11} N m^2 kg^{-2}. அதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு $M^{-1} L^3 T^{-2}$.

4.1.1 ஈர்ப்பியல் விதியின் சிறப்புத் தன்மைகள்

(i) இரு பொருள்களுக்கிடையேயான ஈர்ப்பியல் விசையானது, ஒரு செயல் - எதிர்ச்செயல் சோடியாகும்.

(ii) லேசான பொருள்களுக்கிடையே, ஈர்ப்பியல் விசை மிகக் குறைவாக இருக்கும். கனமான பொருள்களுக்கு விசை அதிகமாக இருக்கும். சூரியனுக்கும் புவிக்கும் இடையே உள்ள ஈர்ப்பியல் விசை மிக அதிகம்.

4.2 ஈர்ப்பின் முடுக்கம் (acceleration due to gravity)

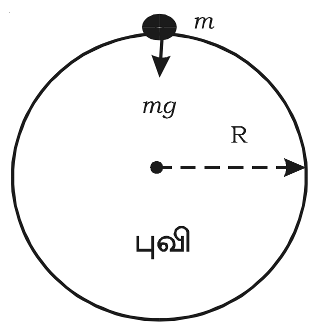
புவியின் ஈர்ப்பு காரணமான பொருளின் இயக்கத்தைப் பற்றிய முறையான ஆய்வினை முதன் முதலில் கலிலியோ மேற்கொண்டார். பைசா (Pisa) நகரத்துக் கோபுரத்தின் மீதிருந்து பல பொருள்களை விழச் செய்து, ஈர்ப்பின் காரணமான இயக்கத்தை அவர் ஆய்வு செய்தார். ''காற்று இல்லாத நிலையில், அனைத்துப் பொருள்களும் சம வேகத்தில் கீழே விழுகின்றன'' என்ற உண்மையைக் கண்டறிந்தார். ஈர்ப்புக் காரணமாக கீழே விழும் காகிதத்துண்டு அல்லது வான்குடை மிதவை (parachute) ஒன்றின் இயக்க வேகத்தைக் காற்றுத் தடை குறைக்கிறது. காற்று இல்லாத இடத்தில், கனமான கல் ஒன்றையும் வான்குடை மிதவை ஒன்றையும் ஒரே நேரத்தில் விழச் செய்தால், இரண்டும் சம வேகத்திலேயே கீழே விழும்.

ஈர்ப்புக் காரணமாகத் தடையின்றித் தானே கீழே விழும் பொருளின் திசைவேகம் சீரான வீதத்தில் அதிகரிக்கிறது எனச் சோதனைகளிலிருந்து தெரிகிறது (அதாவது, முடுக்கம் சீரானது). ஈர்ப்பின் விசையினால் பொருளில் ஏற்படும் முடுக்கம் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் எனப்படும். அது 'g' என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. குறிப்பிட்ட இடத்தில், அனைத்துப் பொருள்களுக்கும், நிறை மாறுபடினும் g–ன் மதிப்பு சமம் ஆகும். அதன் மதிப்பு, புவிப்பரப்பில் இடத்திற்கு இடம் மாறுபடும். மேலும் குத்துயரத்தைப் பொருத்தும் ஆழத்தைப் பொருத்தும் மாறுபடுகிறது.

கடல் மட்டத்தில், 45^o அட்சத்தில் உள்ள g–ன் மதிப்பு படித்தர (standard) மதிப்பாக கருதப்படுகிறது. அதாவது, $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$.

4.3 புவியின் பரப்பில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம்

படம் 4.3-ல் காட்டியவாறு, m நிறையுடைய பொருளொன்று புவிப்பரப்பின் மீது இருப்பதாகக் கருதுக. புவியின் மையத்திலிருந்து, அது உள்ள தொலைவு R (புவியின் ஆரம்) ஆகும் .



படம் 4.3 ஈர்ப்பின் முடுக்கம்

பொருளின் மீதான ஈர்ப்பியல் விசை,

$$F = \frac{GMm}{R^2}$$

இதில் M என்பது புவியின் நிறை ஆகும்.

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்கவிதிப்படி, விசை $F = mg$.

மேற்கண்ட இரு விசைகளையும் சமப்படுத்த,

$$\frac{GMm}{R^2} = mg$$

$$\therefore g = \frac{GM}{R^2}$$

g–ன் மதிப்பு, பொருளின் நிறையைப் பொருத்ததல்ல என்பது மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து தெரிகிறது. ஆனால், அது புவியின் மையத்திலிருந்து உள்ள தொலைவைச் சார்ந்து மாறுபடும். R ஆரமுள்ள கோளமாக புவியைக் கருதினால், புவிப்பரப்பின் மீது g–யின் மதிப்பு, $g = \frac{GM}{R^2}$

4.3.1 புவியின் நிறை

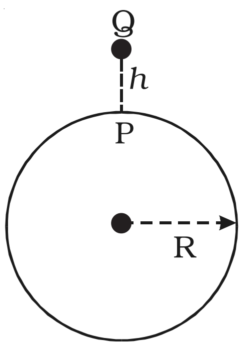
$g = \frac{GM}{R^2}$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து, புவியின் நிறையை கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

$$M = \frac{gR^2}{G} = \frac{9.8 \times (6.38 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}}$$

$$M = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

4.4 ஈர்ப்பின் முடுக்கம் மாறுபடுதல்

(i) குத்துயரத்தைச் சார்ந்து g மாறுபடுதல்



படம் 4.4
குத்துயரத்தைச் சார்ந்து g மாறுபடுதல்

புவிப்பரப்பின் மீது P என்ற புள்ளியையும், h குத்துயரத்தில் Q என்ற புள்ளியையும் கருதுக. புவியின் நிறை M எனவும் அதன் ஆரம் R எனவும் கருதுக. புவியை கோள வடிவப் பொருளாகக் கருதுவோம். புவிப்பரப்பில், P–யில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம்,

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad \ldots (1)$$

புவிப்பரப்பிலிருந்து h உயரத்தில் Q என்ற புள்ளியில் பொருள் இருப்பின், Q-யில், ஈர்ப்பின் முடுக்கம்,

$$g_h = \frac{GM}{(R+h)^2} \quad \ldots (2)$$

சமன்பாடு (2)ஐ (1)-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{g_h}{g} = \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

இச்சமன்பாட்டைச் சுருக்கி, ஈருறுப்புக் கோவையாக விரிவுபடுத்திய பிறகு,

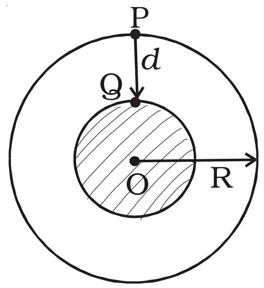
$$g_h = g\left(1 - \frac{2h}{R}\right)$$

புவிப்பரப்பிற்கு மேல், உயரம் அதிகரிக்கும் போது ஈர்ப்பின் முடுக்கம் குறைகிறது.

(ii) ஆழத்தைச் சார்ந்து g மாறுபடுதல்

R ஆரமும் M நிறையும் சீரான அடர்த்தியும் உடைய கோளமாகப் புவியைக் கருதுக.

புவிப்பரப்பின் மீது P என்ற புள்ளியையும், d ஆழத்தில் Q என்ற புள்ளியையும் கருதுக.



படம் 4.5 ஆழத்தைச் சார்ந்து *g* மாறுபடுதல்

புவிப்பரப்பின் மீது, P–யில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் $g = \frac{GM}{R^2}$ புவியின் அடர்த்தி ρ எனில், புவியின் நிறை

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

$$\therefore g = \frac{4}{3}G\pi R\rho \qquad \dots (1)$$

புவிப்பரப்பிலிருந்து d ஆழத்தில், Q–யில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம்

$$g_d = \frac{GM_d}{(R-d)^2}$$

(R–d) ஆரமுடைய உட்கோளப் புவியின் நிறை,

$$M_d = \frac{4}{3}\pi(R-d)^3\rho$$

$$\therefore g_d = \frac{4}{3}G\pi(R-d)\rho \qquad \dots (2)$$

சமன்பாடு (2) ஐ - (1) ஆல் வகுக்க,

$$\frac{g_d}{g} = \frac{R-d}{R}$$

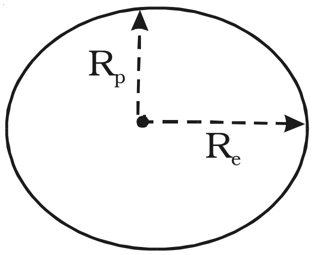
$$g_d = g\left(1 - \frac{d}{R}\right)$$

ஆழம் அதிகரித்தால் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் குறையும்.

(iii) குறுக்குக் கோட்டினைச் (Latitude) சார்ந்து g மாறுபடுதல் (புவியின் கோள வடிவமற்ற தன்மை)

புவி, முழுமையான கோளமல்ல. படம் 4.6-ல் காட்டியவாறு, அது ஏறத்தாழ நீள்வட்ட வடிவத்திலுள்ளது. 90^o குறுக்குக் கோட்டில், அதாவது துருவங்களில் தட்டையாகவும் 0^o குறுக்குக்கோட்டில், அதாவது நிலநடுக்கோட்டுப் பகுதியில் புடைத்தும் (bulge) இருக்கிறது.

துருவப் பகுதியில் புவியின் ஆரம் R_p -ஐ விட, நிலநடுக்கோட்டுத் தளத்தில் உள்ள ஆரம் R_e ஏறத்தாழ 21 km அதிகம் ஆகும்.



படம் 4.6 புவியின் கோள வடிவமற்ற தன்மை

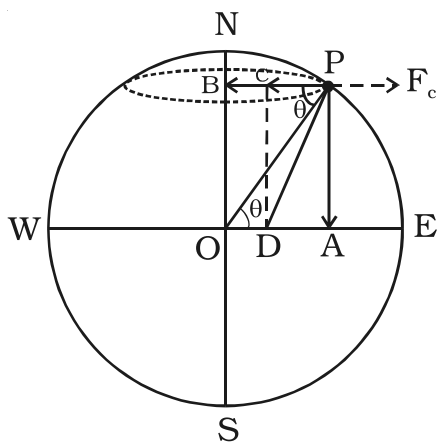
ஈர்ப்பின் முடுக்கம், $g = \frac{GM}{R^2}$

$$\therefore g \propto \frac{1}{R^2}$$

எனவே, g–யின் மதிப்பு, புவியின் ஆரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்த்தகவில் மாறுகிறது. நில நடுக்கோட்டுப் பகுதியில் புவியின் ஆரம் மிக அதிகம். எனவே, நிலநடுக்கோட்டுப் பகுதியில் g–ன் மதிப்பு சிறுமம். துருவப் பகுதியில் புவியின் ஆரம் மிகக் குறைவு. எனவே, துருவப் பகுதியில் g–ன் மதிப்பு பெருமம். நிலநடுக்கோட்டுப் பகுதியிலிருந்து துருவங்களுக்குச் செல்லும் போது g–ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும்.

(iv) குறுக்குக் கோட்டினைச் சார்ந்து g மாறுபடுதல் (புவியின் சுழற்சி)

M நிறையும் R ஆரமும் உள்ள புவியினை ஒரு சீரான கோளமாகக் கருதுவோம். வட மற்றும் தென் துருவங்கள் வழியாகச் செல்லும் அச்சினைப் பொருத்து புவி சுழல்கிறது. மேற்கிலிருந்து கிழக்காக, 24 மணி நேரத்தில் புவி சுழல்கிறது. அதன் கோணத் திசைவேகம் 7.3×10^{-5} rad s^{-1}



படம் 4.7 புவியின் சுழற்சி

புவியின் பரப்பில், θ குறுக்குக் கோட்டில் **(latitude)** P என்ற புள்ளியில், m நிறையுள்ள பொருள் இருப்பதாகக் கருதுக. ω என்பது கோணத் திசைவேகமாக இருக்கட்டும். $F = mg$ என்ற விசை (எடை) PO வழியாகச் செயல்படுகிறது. அதனை **(i)** PB வழியாக $mg \cos\theta$ எனவும் **(ii)** PA வழியாக $mg \sin\theta$ எனவும் இரு செவ்வகக் கூறுகளாகப் பகுக்கலாம் (படம் 4.7).

ΔOPB-ல், $BP = R\cos\theta$. பொருளானது, B-யை மையமாகவும் $BP = R\cos\theta$–வை ஆரமாகவும் கொண்ட வட்டத்தை ஏற்படுத்துகிறது.

புவியின் சுழற்சி காரணமாக P-யில் உள்ள பொருள் மைய விலக்கு விசையை (வெளிப்புற விசை) ஏற்படுத்துகிறது.

(i.e) $F_C = mR\omega^2 \cos\theta$

PC வழியாகச் செயல்படும் மொத்த விசை, $= mg\cos\theta - mR\omega^2\cos\theta$

$\therefore$ பொருளின் மீது PA மற்றும் PC வழியாக இரு விசைகள் செயல்படுகின்றன.

இவ்விரு விசைகளின் தொடுபயன் $F=\sqrt{(mg\sin\theta)^2+(mg\cos\theta - mR\omega^2\cos\theta)^2}$

$$F = mg\sqrt{1-\frac{2R\omega^2\cos^2\theta}{g}+\frac{R^2\omega^4\cos^2\theta}{g^2}}$$

$\frac{R^2\omega^4}{g^2}$ மிகச்சிறியதாதலால்

$\frac{R^2\omega^4\cos^2\theta}{g^2}$ புறக்கணிக்கத்தக்கது.

விசை, $$F = mg\sqrt{1-\frac{2R\omega^2\cos^2\theta}{g}} \qquad \dots (1)$$

F விசை காரணமாக P–யில் பொருளின் முடுக்கம் g' எனப்பட்டால்

$$F = mg' \qquad \dots (2)$$

சமன்பாடுகள் (2) மற்றும் (1)–ஐச் சமப்படுத்த

$$mg' = mg\sqrt{1-\frac{2R\omega^2\cos^2\theta}{g}}$$

$$g' = g\left(1-\frac{R\omega^2\cos^2\theta}{g}\right)$$

நேர்வு (i) துருவங்களில், $\theta = 90^o$;

$$\cos\theta = 0$$

$$\therefore\ g' = g$$

நேர்வு (ii) நிலநடுக்கோட்டுப் பகுதியில், $\theta = 0$; $\cos\theta = 1$

$$\therefore\ g' = g\left(1-\frac{R\omega^2}{g}\right)$$

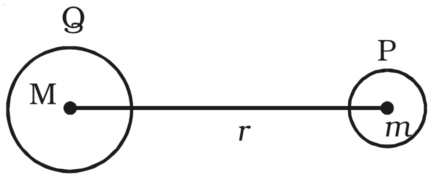
எனவே, துருவங்களில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் பெருமம் ஆகும்.

4.5 ஈர்ப்புப் புலம்

இரு நிறைகள் ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவினால் பிரிக்கப்பட்டுள்ளபோது, ஒன்று மற்றொன்றின் மீது ஈர்ப்பியல் விசையைச் செயல்படுத்துகின்றது. இதனைத் தொலைவில் செயல் (action at a distance) என்கிறோம். அவை, ஒன்றையொன்று தொடாமல் இருப்பினும், இந்த இடைவினை நிகழும். இந்த இடைவினையை புலம் என்ற கருத்தினாலும் விளக்க முடியும். *ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட துகள் அல்லது பொருள் அதனைச் சுற்றி ஏற்படுத்திக் கொள்ளும் இடத்தை (space) ஈர்ப்புப் புலம் என்கிறோம்.* வேறொரு துகளை இப்புலத்தினுள் கொண்டு வந்தால், அது ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசையை ஏற்படுத்தும். ஒரு நிறையைச் சுற்றிலும் உள்ள இடத்தினுள் வேறொரு நிறையின் மீது ஈர்ப்பியல் விசை செயல்படுமாயின், அந்த இடத்தை ஈர்ப்புப் புலம் என வரையறுக்கலாம்.

4.5.1 ஈர்ப்புப் புலச்செறிவு

ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட ஓரலகு நிறையின் மீது செயல்படும் விசை, அப்புள்ளியில் ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு அல்லது வலிமை என வரையறுக்கப்படுகிறது. அது $\boldsymbol{E}$ *எனக் குறிக்கப்படும். அது ஒரு வெக்டர் அளவு. அதன் அலகு* $N\ kg^{-1}$



படம் 4.8 ஈர்ப்புப் புலம்

M நிறையுடைய பொருள் Q என்ற புள்ளியிலும், m நிறையுடைய மற்றொரு பொருள் P என்ற புள்ளியிலும் இருப்பதாகக் கருதவும். நிறைகளின் மையங்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு r என்க.

M நிறையானது P-யில் E என்ற புலத்தை ஏற்படுத்துகிறது. இந்தப் புலம் செயல்படுத்தும் விசை $F = mE$ ஆகும். m நிறைக்கும் M நிறைக்கும் இடையேயான ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசை

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

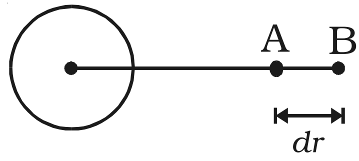
Pயில், ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு, $E = \frac{F}{m}$

$$\therefore\ E = \frac{GM}{r^2}$$

ஈர்ப்புப் புலச் செறிவினை அளவிடுவதன் மூலம் ஈர்ப்புப் புலத்தை அறிந்து கொள்ளலாம்.

4.5.2 ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடு

ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசைக்கு எதிராக ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு ஓரலகு நிறையை நகர்த்தும் போது செய்யப்படும் வேலையின் அளவு, அவ்விரு புள்ளிகளுக்கு இடையேயான ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடு என வரையறுக்கப்படுகிறது.



படம் 4.9 ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடு

ஈர்ப்புப் புலத்தில் dr தொலைவில் பிரிக்கப்பட்டுள்ள A மற்றும் B என்ற புள்ளிகளைக் கருதுக.

A-யிலிருந்து B-க்கு, ஓரலகு நிறையை நகர்த்த செய்யப்படும் வேலை,

$$dv = W_{A \to B}$$

ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடு

$$dv = -E\, dr$$

ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு எதிராக வேலை செய்யப்படுவதை எதிர்க்குறி குறிக்கிறது.

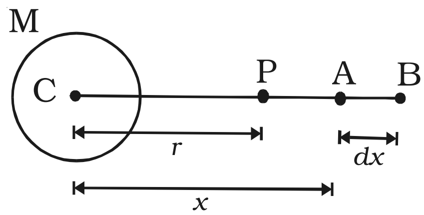
4.5.3 ஈர்ப்பு அழுத்தம்

ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு எதிராக, ஒரு புள்ளியிலிருந்து ஈறில்லாத் தொலைவிற்கு, ஓரலகு நிறையை நகர்த்தும்போது செய்யப்படும் வேலையின் அளவு, அப்புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் என வரையறுக்கப்படுகிறது. இது ஒரு ஸ்கேலர் அளவு. இதன் அலகு $N\,m\,kg^{-1}$.

4.5.4 ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தத்தின் கோவை

C என்ற புள்ளியில் M நிறையுடைய பொருள் இருப்பதாகக் கருதவும். C-யில்

இருந்து r தொலைவில் உள்ள P என்ற புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தத்தைக் கணக்கிட, A மற்றும் B என்ற இரு புள்ளிகளைக் கருதுக. ஓரலகு நிறை வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி A-யானது C-யில் இருந்து x தொலைவில் இருக்கிறது.



படம் 4.10 ஈர்ப்பு அழுத்தம்

A–யில் ஈர்ப்புப் புலம், $E = \frac{GM}{x^2}$

A–யிலிருந்து B–க்கு, ஓரலகு நிறையை dx என்ற சிறிய தொலைவிற்கு நகர்த்தும் போது செய்யப்படும் வேலை,

$$dw = dv = -\ E.dx$$

ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு எதிராக வேலை செய்யப்படுவதை எதிர்க்குறி குறிப்பிடுகிறது.

$$dv = -\frac{GM}{x^2}\ dx$$

P–யிலிருந்து ஈறில்லாத் தொலைவிற்கு, ஓரலகு நிறையை நகர்த்தும் போது செய்யப்படும் வேலை,

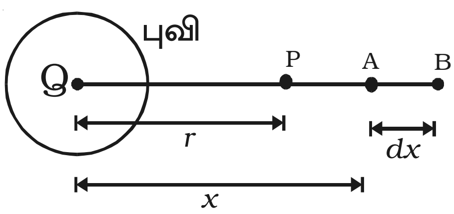
$$\int dv = -\int_r^{\infty} \frac{GM}{x^2}\ dx$$

$$v = -\frac{GM}{r}$$

ஈர்ப்பு அழுத்தம் எதிர்க்குறியில் இருக்கும். ஏனெனில், ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு எதிராக வேலை செய்யப்படுகிறது. அதாவது, ஈர்ப்பியல் விசை எப்போதுமே கவர்ச்சி விசையாகும்.

4.5.5 ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல்

M நிறையுள்ள புவியின் மையத்திலிருந்து r தொலைவில், P என்ற புள்ளியில் m நிறையுடைய பொருள் ஒன்று இருப்பதாகக் கருதுக.



படம் 4.11 ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல்

Q-ல் இருந்து x தொலைவில் A என்ற புள்ளியில் நிறை m உள்ளபோது, அதன் மீது M நிறையினால் ஏற்படும் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசை, $F = \frac{GMm}{x^2}$

m மற்றும் M என்ற இரு நிறைகளின் மையங்களை இணைக்கும் கோட்டின் வழியாக, Aயிலிருந்து B-க்கு m நிறையை dx என்ற சிறிய தொலைவிற்கு நகர்த்தும்போது செய்யப்படும் வேலை, $dw = -F.dx$

ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு எதிராக வேலை செய்யப்படுவதை எதிர்க்குறி குறிப்பிடுகிறது.

$$\therefore\ dw = -\frac{GMm}{x^2}\cdot dx$$

M நிறையிலிருந்து r தொலைவில் இருக்கும் நிறை m-ன் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றலானது, r தொலைவிலிருந்து ஈறில்லாத் தொலைவிற்கு m நிறையை நகர்த்தும் போது செய்யப்படும் வேலை என வரையறுக்கப்படுகிறது.

r தொலைவிலிருந்து ஈறில்லாத் தொலைவிற்கு m நிறையை நகர்த்தும்போது செய்யப்படும் மொத்த வேலை,

$$\int dw = -\int_r^\infty \frac{GMm}{x^2}dx$$

$$W = -GMm\int_r^\infty \frac{1}{x^2}dx$$

$$*U = -\frac{GMm}{r}$$

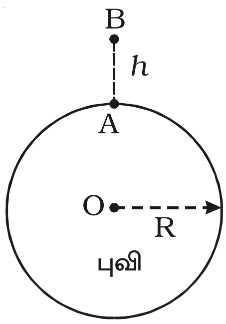
ஈறில்லாத் தொலைவில், ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் சுழி ஆகும். தொலைவு குறையும் போது ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றலும் குறையும். ஏனெனில், பொருள் ஒன்றின்மீது புவி ஏற்படுத்தும் ஈர்ப்பியல் விசை கவர்ச்சி விசையாகும். எனவே ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் U எதிர்க்குறியாகும்.

4.5.6 புவிப்பரப்பிற்கு அருகில் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல்

R என்பது புவியின் ஆரம் மற்றும் M என்பது புவியின் நிறை எனக் கருதுக. A என்ற புள்ளி புவிப்பரப்பின் மீதும், B என்ற புள்ளி புவிப்பரப்பிலிருந்து h உயரத்திலும் உள்ளன. m என்ற நிறையை Aயிலிருந்து Bக்கு நகர்த்தும் போது செய்யப்படும் வேலை

$$U = U_B - U_A$$

$$U = -GMm\left[\frac{1}{(R+h)} - \frac{1}{R}\right]$$



படம் 4.12 *புவிப்பரப்பிற்கு அருகில் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல்*

** ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல் U (Upsilon) எனக் குறிக்கப்படுகிறது.*

$$U = GMm\left[\frac{1}{R} - \frac{1}{(R+h)}\right]$$

$$U = \frac{GMmh}{R(R+h)}$$

பொருளானது, புவிப்பரப்பிற்கருகில் இருப்பின், R-ஐ ஒப்பிடும்போது h மதிப்பு மிகச் சிறியது ஆகும். எனவே $(R + h)$ என்பதை R எனக் குறிப்பிடலாம்.

$$\therefore \quad U = \frac{GMmh}{R^2}$$

$$U = mgh \qquad \left(\because \frac{GM}{R^2} = g\right)$$

4.6 நிலைம நிறை

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதிப்படி $(F = ma)$மாறாத விசையினால், பொருளில் ஏற்படும் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுவதன் மூலம் அதன் நிறையைக் கணக்கிட முடியும். அதாவது, $m = F/a$. புறவிசையினால் பொருளில் ஏற்படும் முடுக்கத்தை எதிர்க்கக்கூடிய திறமையை (ability) அளவிடுவது, பொருளின் நிலைம நிறை ஆகும்.

மாறாத விசை ஒன்று m_A மற்றும் m_B என்ற நிறைகளுடைய இரண்டு பொருள்களில் செயல்பட்டு, முறையே a_A மற்றும் a_B என்ற முடுக்கங்களை ஏற்படுத்துகிறது எனில்,

$$F = m_A a_A = m_B a_B$$

$$\therefore \frac{m_A}{m_B} = \frac{a_B}{a_A}$$

இரு நிறைகளின் தகவு, மாறாத விசையைச் சார்ந்ததல்ல. இரு வேறு பொருள்களின் மீது சம அளவு விசைகளைச் செயல்படுத்தும்போது, முடுக்கம் குறைவாக ஏற்படும் பொருளிற்கு நிலைம நிறை அதிகமாகும்.

இரண்டு நிறைகளில் ஒன்று, கிலோகிராம் என்ற படித்தரமாக (standard) இருப்பின், அவற்றின் முடுக்கங்களை ஒப்பிடுவதன் மூலம் தெரியாத நிறையைக் கணக்கிட முடியும்.

4.7 ஈர்ப்பியல் நிறை

நியூட்டனின் ஈர்ப்பியல் விதிப்படி, பொருளின் மீதான ஈர்ப்பியல் விசை, அப்பொருளின் நிறைக்கு நேர்த்தகவாகும். பொருளொன்றின் மீது, புவி போன்ற கனமான பொருள் ஏற்படுத்தும் ஈர்ப்பியல் விசையை அளந்தறிவதன் மூலம், அப்பொருளின் நிறையைக் கணக்கிடலாம். பொருளுக்கும் புவிக்கும் இடையிலான ஈர்ப்பியல் விசையின் எண் மதிப்பினை அளவிடக்கூடிய அப்பொருளின் நிறை ஈர்ப்பியல் நிறை எனப்படும். இதனை சட்டத் தராசு கொண்டு கணக்கிடலாம்.

புவியின் காரணமாக, m_A மற்றும் m_B நிறைகள் உடைய இரு பொருள்களின் மீது செயல்படும் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசைகள் F_A மற்றும் F_B எனில்,

$$F_A = \frac{Gm_AM}{R^2} \quad \text{மற்றும்} \quad F_B = \frac{Gm_BM}{R^2}$$

இவற்றில் M என்பது புவியின் நிறை, R என்பது புவியின் ஆரம் மற்றும் G என்பது ஈர்ப்பியல் மாறிலி.

$$\therefore \quad \frac{m_A}{m_B} = \frac{F_A}{F_B}$$

இரண்டு நிறைகளில் ஒன்று கிலோகிராம் என்ற படித்தரமாக (standard) இருப்பின், அவற்றின் ஈர்ப்பியல் விசைகளை ஒப்பிடுவதன் மூலம் தெரியாத நிறையைக் கணக்கிட முடியும்.

4.8 விடுபடு வேகம்

பொருளொன்றை மேல்நோக்கி எறிந்தால் குறிப்பிட்ட உயரம் சென்றபின் மீண்டும் கீழ்நோக்கி விழும். இதற்குக் காரணம் புவியின் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சியாகும். அதிக வேகத்துடன் பொருளை எறிந்தால் அதிக உயரத்திற்குச் செல்லும். 11.2 km/s வேகத்தில் பொருள் எறியப்பட்டால், மீண்டும் கீழே வராமல் புவியிலிருந்து தப்பிச் சென்று விடும். கோளின் ஈர்ப்பியல் புலத்திலிருந்து விடுபட்டுத் தப்பிச் செல்லுமாறு, பொருள் எறியப்பட வேண்டிய சிறும வேகம் விடுபடு வேகம் எனப்படும்.

m நிறையுள்ள பொருள், புவிப்பரப்பின் மீது இருப்பதாகக் கருதுக. அதன் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல்,

$$E_P = -\frac{GMm}{R}$$

இதில், M என்பது புவியின் நிறை மற்றும் R என்பது புவியின் ஆரம் ஆகும்.

v_e என்ற வேகத்தில், பொருள் மேல்நோக்கி எறியப்பட்டால், இயக்க ஆற்றல்,

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

$\therefore$ பொருளின் தொடக்க மொத்த ஆற்றல் $E_i = \frac{1}{2}mv_e^2 - \frac{GMm}{R}$ ...(1)

புவிப்பரப்பிற்கு மேல், h உயரத்தை பொருள் அடைந்தால், ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல்,

$$E_P = -\frac{GMm}{(R+h)}$$

h உயரத்தில் பொருளின் வேகம் v எனில், அதன் இயக்க ஆற்றல், $E_K = \frac{1}{2}mv^2$.

$\therefore$ h உயரத்தில் பொருளின் இறுதி மொத்த ஆற்றல்

$$E_f = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{(R+h)} \quad \text{... (2)}$$

ஈர்ப்பியல் விசையானது, மாற்றமடையாத விசை என நாம் அறிந்ததே. எனவே, மொத்த இயந்திர ஆற்றல் மாற்றமடையாமல் இருக்கும்.

$$\therefore E_i = E_f$$

அதாவது, $\frac{mv_e^2}{2} - \frac{GMm}{R} = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{(R+h)}$

ஈர்ப்புப் புலம் முடிவுற்ற உயரத்தில், பொருளானது புவியின் ஈர்ப்பினின்றும் விடுபட்டு, தப்பிச் செல்லும். அதாவது $h = \infty$. பொருளின் வேகம் v-யானது $h = \infty$-யில் சுழியாகும்.

ஆகவே, $\frac{mv_e^2}{2} - \frac{GMm}{R} = 0$

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$g = \frac{GM}{R^2}$ என்ற தொடர்பிலிருந்து,

$$GM = gR^2$$

ஆகவே, விடுபடு வேகம், $v_e = \sqrt{2gR}$

புவியில் விடுபடு வேகம் 11.2 km/s ஆகும். புதன் கோளில் 4 km/s ஆகவும், வியாழன் கோளில் 60 km/s ஆகவும், நிலவில் 2.5 km/s ஆகவும் விடுபடு வேகங்களின் மதிப்புகள் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன.

4.8.1 கோள் ஒன்றின் வளிமண்டலத்துடன் விடுபடு வேகத்தின் விளைவு

விடுபடு வேகமானது, பொருளின் நிறையைச் சார்ந்ததல்ல என்பது நாம் அறிந்ததே. ஆகவே வாயு ஒன்றின் மூலக்கூறுகளுக்கும் மிகுந்த நிறையுடைய, கனமான ராக்கெட்டுகளுக்கும் புவியிலிருந்தோ அல்லது வேறொரு கோளில் இருந்தோ அல்லது நிலவில் இருந்தோ விடுபட்டுத் தப்பிச் செல்லத் தேவைப்படும் தொடக்க வேகம் சமமாக இருக்கும்.

வாயுவில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசைவேகம், அவ்வாயுவின் தன்மையையும் வெப்ப நிலையையும் சார்ந்தது. சாதாரண வெப்பநிலைகளில், ஆக்சிஜன், நைட்ரஜன் மற்றும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு போன்ற வாயுக்களின் சராசரித் திசைவேகம் 0.5 km/s லிருந்து1 km/s ஆகவும், ஹைடிரஜன் மற்றும் ஹீலியம் போன்ற லேசான வாயுக்களின் சராசரித் திசைவேகம் 2 முதல் 3 km/s ஆகவும் இருக்கிறது. லேசான வாயுக்களின் திசைவேகங்கள், நிலவின் விடுபடு வேகத்திற்கு ஏறத்தாழ சமமாக இருப்பதால், நிலவில் இருந்து அவை விடுபட்டுச் சென்றுவிடும். நிலவின் ஈர்ப்புப்புலம் வலிமை குன்றியதாக உள்ளதால், நிலவில் இவ்வாயுக்கள் தொடர்ந்து இருக்க முடியாது. சூரியனின் வளிமண்டலத்தில் லேசான வாயுக்கள் இருப்பதில் வியப்பேதுமில்லை. ஏனெனில், சூரியனின் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி மிக்க வலிமை பெற்றது, மற்றும் விடுபடு வேகம் 620 km/s என்ற அளவிற்கு மிக அதிகம்.

4.9 துணைக்கோள்கள்

கோள் ஒன்றை, ஒரு குறிப்பிட்ட சுற்றுப் பாதையில் சுற்றி வரும் பொருளை துணைக்கோள் எனலாம். புவிக்கு, இயற்கையிலேயே அமைந்த துணைக்கோள் நிலவு ஆகும். இது, புவியை, 3.85×10^5 km ஆரமுள்ள வட்டப்பாதையில், 27.3 நாள்களுக்கு ஒரு முறை சுற்றி வருகிறது. 1956-ஆம் ஆண்டு, ஸ்புட்னிக் **(sputnik)** என்ற முதல் செயற்கைத் துணைக்கோள் செலுத்தப்பட்டது. இந்தியாவின் முதல் துணைக்கோளான ஆரியபட்டா 1975-ம் ஆண்டு ஏப்ரல் மாதம் 19-ம் தேதி செலுத்தப்பட்டது.

4.9.1 சுற்றியக்கத் திசைவேகம்

துணைக்கோள்கள், சில நூறு கிலோமீட்டர்கள் உயரத்தில், சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிவரச் செய்யப்படுகின்றன. இந்த உயரத்தில், காற்று ஏற்படுத்தும் உராய்வுத் தடை புறக்கணிக்கத்தக்கது. ராக்கெட் ஒன்று, துணைக்கோளினை தேவைப்படும் உயரத்திற்கு எடுத்துச் சென்று, ஏறக்குறைய வட்டப்பாதையில் தொடர்ந்து இயங்குமாறு, அதிக திசைவேகத்துடன் கிடைத்தளத்தில் விடுவிக்கும்.

கோளின் பரப்பிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட உயரத்தில், அக்கோளினை வட்டப்பாதையில் சுற்றிவர, துணைக்கோளிற்குக் கொடுக்கப்படும் கிடக்கைத் திசைவேகம் சுற்றியக்கத் திசைவேகம் எனப்படும்.

m நிறையுள்ள துணைக்கோள் ஒன்று, r ஆரம் உள்ள வட்டப்பாதையில் v_o என்ற சீரான வேகத்தில் இயங்குவதாகக் கருதுவோம்.

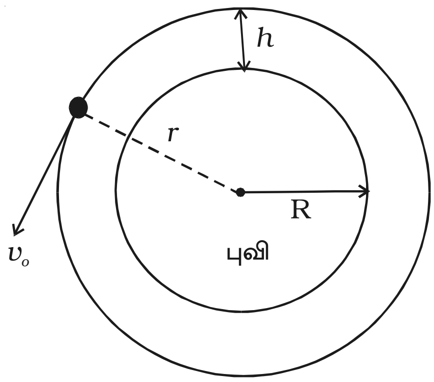
புவியின் பரப்பிலிருந்து துணைக்கோள் h உயரத்தில் இருப்பதாகக் கருதுக. R என்பது புவியின் ஆரமானால், $r = R+h$.

துணைக்கோளை வட்டப்பாதையில் சுற்றுமாறு செய்யத் தேவைப்படும் மையநோக்கு விசை,

$$F = \frac{mv_o^2}{r} = \frac{mv_o^2}{R+h}$$

புவிக்கும் துணைக்கோளிற்கும் இடையேயான ஈர்ப்பியல் விசை,

$$F = \frac{GMm}{r^2} = \frac{GMm}{(R+h)^2}$$



படம் 4.13 சுற்றியக்கத் திசைவேகம்

நிலையான சுற்றியக்கத்திற்கு,

$$\frac{mv_o^2}{R+h} = \frac{GMm}{(R+h)^2}$$

$$v_o = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

புவிப்பரப்பின் மீது ஈர்ப்பின் முடுக்கம்,

$$g = \frac{GM}{R^2},$$

$$\therefore \quad v_o = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$$

துணைக்கோளானது சில நூறு கிலோமீட்டர்கள் (200 km) உயரத்தில் உள்ளபோது, $(R + h)$ என்பதை R எனக் குறிப்பிடலாம்.

$\therefore$ சுற்றியக்கத் திசைவேகம், $v_o = \sqrt{gR}$

கொடுக்கப்பட்ட கிடக்கைத் திசைவேகம், கணக்கிடப்பட்ட மதிப்பிற்குச் சமமாக இல்லையெனில் துணைக்கோள் வட்டப்பாதையில் சுற்றி வராது. கொடுக்கப்பட்ட

திசைவேகமானது கணக்கிடப்பட்ட மதிப்பைவிட அதிகமாகவும், ஆனால், விடுபடு வேகத்திற்கு ($\upsilon_e = \sqrt{2}\ \upsilon_o$) குறைவாகவும் இருந்தால், துணைக்கோள் நீள்வட்டப் பாதையில் சுற்றி வரும். கொடுக்கப்பட்ட திசைவேகம், விடுபடு திசைவேகத்தைவிட அதிகமாக இருப்பின், துணைக்கோள் புவியைச் சுற்றி வராமல் விண்வெளிக்குத் தப்பிச்சென்று விடும். கொடுக்கப்பட்ட திசைவேகம் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்பை விடக் குறைவாக இருப்பின், துணைக்கோளானது புவியின் மீது விழுந்து விடும்.

4.9.2 துணைக்கோளின் சுற்றுக்காலம்

துணைக்கோளானது, புவியை ஒரு முழுச்சுற்று சுற்றிவர ஆகும் காலம் சுற்றுக்காலம் ஆகும்.

சுற்றுக்காலம், $$T = \frac{\text{பாதையின் சுற்றளவு}}{\text{சுற்றியக்கத் திசைவேகம்}}$$

சுற்றுப்பாதையின் r = $R+h$ எனில் $$T = \frac{2\pi r}{\upsilon_o} = \frac{2\pi(R+h)}{\upsilon_o}$$

$$T = 2\pi\ (R+h)\ \sqrt{\frac{R+h}{GM}} \qquad \left[\because \upsilon_o = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}\right]$$

$$T = 2\pi\ \sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}}$$

ஆனால், $GM = gR^2$

$$\therefore\ T = 2\pi\ \sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$$

புவிக்கு மிக அருகில் துணைக்கோள் சுற்றும்போது, $h << R$

$$\therefore\ T = 2\pi\ \sqrt{\frac{R}{g}}$$

4.9.3 சுற்றும் துணைக்கோளின் ஆற்றல்

புவியை வட்டப்பாதையில் சுற்றிவரும் துணைக்கோள் ஒன்று, நிலை ஆற்றலையும் இயக்க ஆற்றலையும் பெற்றிருக்கும். புவிப்பரப்பிற்கு மேல் துணைக்கோள் உள்ள உயரம் h மற்றும் புவியின் ஆரம் R எனில், துணைக்கோளின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம், $r = R + h$.

புவியின் நிறை M மற்றும் துணைக்கோளின் நிறை m எனில், அதன் நிலை ஆற்றல் (ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றல்),

$$E_P = \frac{-GMm}{r} = \frac{-GMm}{(R+h)}$$

துணைக்கோளின் சுற்றியக்கத் திசைவேகம்

$$v_o = \sqrt{\frac{GM}{(R+h)}}$$

எனவே, இயக்க ஆற்றல், $E_K = \frac{1}{2}mv_o^2$

$$E_K = \frac{GMm}{2(R+h)}$$

துணைக்கோளின் மொத்த ஆற்றல், $E = E_P + E_K$

$$E = -\frac{GMm}{2(R+h)}$$

துணைக்கோள், புவியின் கட்டுப்பாட்டில் உள்ளது என்பதை மொத்த ஆற்றலின் எதிர்க்குறி சுட்டிக் காட்டுகிறது.

4.9.4 புவி-நிலைத் துணைக்கோள்கள்

தொலைக்காட்சி மற்றும் தொலைபேசித் தொடர்பில் பயன்படக் கூடிய ஒரு வகைத் துணைக்கோள்கள், புவி-நிலைத் துணைக் கோள்களாகும் **(Geo–Stationary Satellites).** நிலநடுக்கோட்டுப் பகுதிக்கு மேல், ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தில் நிலையான இடங்களில் இருப்பது போன்று தோன்றும் தொலைத் தொடர்புத் துணைக்கோள்கள், ஒத்திருக்கும் **(synchronous)** துணைக்கோள்கள் அல்லது புவி-நிலைத் துணைக்கோள்கள் எனப்படுகின்றன. சில தொலைக்காட்சி நிகழ்ச்சிகள் அல்லது மற்ற நாடுகளில் நடைபெறும் நிகழ்ச்சிகளை நேரிடையாக **(live)** ஒளிபரப்பு செய்ய இந்தத் துணைக்கோள்கள் உதவுகின்றன.

துணைக்கோளானது, புவிக்கு மேலே ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் நிலையாக இருப்பதுபோல் தோன்ற வேண்டுமெனில், அதனுடைய சுற்றுக் காலமும், புவியின் தன்னச்சைப் பற்றிய சுழற்சிக் காலமும் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

புவியின் மையத்திலிருந்து r தொலைவில் m நிறையுள்ள துணைக்கோள் ஒன்று, வட்டப் பாதையில் இயங்குவதாகக் கருதுக. ஒத்திருக்க வேண்டுமெனில் **(Synchronisation)** புவியைச் சுற்றும் துணைக்கோளின் சுற்றுக்காலம், புவியின்

சுழற்சிக் காலத்திற்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

(அதாவது, 1 நாள் = 24 மணி = 86400 நொடிகள்)

துணைக்கோளின் வேகம்,

$$v = \frac{\text{பாதையின் சுற்றளவு}}{\text{சுற்றுக் காலம்}}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

மையநோக்கு விசை, $F = \frac{mv^2}{r}$

$$\therefore F = \frac{4m\pi^2 r}{T^2}$$

புவியினால் துணைக்கோளின் மீதான ஈர்ப்பியல் விசை, $F = \frac{GMm}{r^2}$

நிலையான சுற்றியக்கத்திற்கு,

$$\frac{4m\pi^2 r}{T^2} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$$

ஆனால், $g = \frac{GM}{R^2}$

$$\therefore r^3 = \frac{gR^2T^2}{4\pi^2}$$

புவி-நிலைத் துணைக்கோளின் சுற்றுப் பாதையின் ஆரம், $r = \left(\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}\right)^{1/3}$

இப்பாதை, துணைக்கோளை நிறுத்தும் பாதை (Parking orbit) எனலாம்.

$T = 86400$ s, $R = 6400$ km, $g = 9.8$ m/s^2, என்ற மதிப்புகளைப் பிரதியிட, புவி-நிலைத் துணைக்கோளின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் 42400 km எனக் கணக்கிடலாம்.

$\therefore$ புவிப்பரப்பிற்கு மேல் புவி-நிலைத்துணைக்கோள் இருக்கும் உயரம் $h = r - R = 36000$ km. துணைக்கோள் ஒன்றினை, இந்த உயரத்தில் வைத்தால், அது நிலையாக இருப்பதுபோல் தோன்றும்.

அட்லாண்டிக், பசிபிக் மற்றும் இந்துமாக் கடல்களுக்கு மேலே 120^{o} கோண இடைவெளியில் மூன்று துணைக்கோள்களை நிறுத்தினால், உலகம் முழுவதும் ஒரே நேரத்தில் தொலைத் தொடர்பினை ஏற்படுத்தலாம்.

4.9.5 துருவத் துணைக்கோள்கள் **(Polar Satellites)**

வடக்கு - தெற்கு அச்சினைப் பற்றிச் சுழலக் கூடிய புவியை, அதன் வட-தென் துருவங்களுக்கு மேல் செல்லும் சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிவரும் துணைக்கோள்களை துருவத் துணைக்கோள்கள் எனலாம்.

500 முதல் 800 km உயரத்தில் நிறுத்தப்படும் துருவத் துணைக்கோள்கள் ஒரு துருவத்திலிருந்து மற்றொரு துருவத்தை 102 நிமிடங்களில் கடக்கின்றன. விண்வெளியில் நிலையாக இருக்கும் துருவச் சுற்றுப்பாதைக்கு உள்ளே புவி சுழல்வது போல் இருக்கும். இதன் விளைவாக, புவியின் பெரும்பான்மையான பகுதிகள், துருவச் சுற்றுப்பாதையில் உள்ள துணைக்கோளைக் கடந்து செல்லும். இந்த துருவச் சுற்றுப்பாதையினால், புவியின் பரப்புகளை மிக நன்றாகக் கணிக்க முடியும். நில அளவிடுதலிலும் நிலப்படம் எடுத்தலிலும் துருவத் துணைக்கோள்கள் பயன்படுகின்றன.

4.9.6 துணைக்கோள்களின் பயன்கள்

(i) துணைக்கோள் செய்தித் தொடர்பு

ரேடியோ, தொலைக்காட்சி மற்றும் தொலைபேசிச் சைகைகளை நீண்ட தொலைவுகளுக்கு அனுப்ப செய்தித் தொடர்புத் துணைக்கோள்கள் பயன்படுகின்றன. புவியிலிருந்து வரும் சைகைகளை ஏற்கவும், மீண்டும் பல்வேறு திசைகளில் பரப்பவும், இத்துணைக் கோள்களில், கருவிகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும்.

(ii) வானிலை ஆய்வு செய்தல்

விண்ணிலிருந்து மேகங்களை நிழற்படம் எடுக்கவும், புவியிலிருந்து மீண்டுவரும் வெப்பக் கதிர்வீச்சின் அளவை அளவிடவும் வானிலை ஆய்வுத் துணைக்கோள்கள் பயன்படுகின்றன. இந்தச் செய்திகளைக் கொண்டு, சிறந்த முறையில் வானிலை பற்றிய முன்னறிவுப்புகளை அறிவியல் அறிஞர்கள் அறிவிக்க முடியும். துணைக்கோள்கள் அனுப்பும் நமது நாட்டின் படத்தினை, தினமும் தொலைக்காட்சிச் செய்திகளிலும் செய்தித் தாள்களிலும் நீங்கள் பார்த்திருக்கக் கூடும்.

(iii) தொலைக் கட்டுப்பாட்டு உணர்வி ***(Remote sensing)***

பொருள் ஒன்றைத் தொடாமலேயே, அப்பொருளைப் பற்றிய தகவல் சேகரிக்கப்படுதல் தொலைக் கட்டுப்பாட்டு உணர்வி எனப்படும். தொலைக்கட்டுப் பாட்டு உணர்வித் துணைக் கோள்கள் சேகரிக்கும் தகவல்களை விவசாயம், காடு பாதுகாப்பு, வறட்சி நிலவரம், பயிர்களின் விளைச்சல் பற்றிய கணிப்பு, மீன்கள் அதிகம்

இருக்கும் பகுதிகளைக் கண்டறிதல், நிலப்படம் எடுத்தல் மற்றும் நில அளவிடுதல் போன்றவற்றில் பயன்படுத்த முடியும்.

(iv) வழிநடத்துத் துணைக்கோள்கள்

அனைத்து விதமான வானிலைகளின் போதும், கப்பல்களை அல்லது விமானங்களை வழிநடத்துவதில் இவ்வகைத் துணைக்கோள்கள் உதவுகின்றன.

4.9.7 இந்திய விண்வெளித் திட்டம்

1957-ஆம் ஆண்டு, அப்போதைய சோவியத் ரஷ்யா (USSR) ஸ்புட்னிக் என்ற துணைக்கோளை ஏவிய உடனேயே, இந்தியாவும் சமூகப் பொருளாதார வளர்ச்சியில் விண்வெளி அறிவியல் மற்றும் தொழில் நுட்பத்தின் முக்கியத்துவத்தை உணர்ந்து கொண்டது. இந்திய விண்வெளி முயற்சிகள் 1960ஆம் ஆண்டு தொடங்கப்பட்டன. அயனி மண்டலத்தை ஆய்வு செய்ய திருவனந்தபுரம் அருகே தும்பா நிலநடுக்கோட்டு ராக்கெட் ஏவும் நிலையம் நிறுவப்பட்டது. இந்திய விண்வெளி ஆராய்ச்சிக்கு அடித்தளம் அமைத்தவர், இந்திய விண்வெளித் திட்டத்தின் தந்தை என அழைக்கப்படும் Dr. விக்ரம் சாராபாய் ஆவார். தொடக்கத்தில் விண்வெளித் திட்டங்கள் அணு ஆற்றல் துறையினால் மேற்கொள்ளப்பட்டன. 1972-ம் ஆண்டு ஜூன் மாதம் விண்வெளித் துறையானது தனியாக நிறுவப்பட்டது. விண்வெளித் துறையின் கீழ் இயங்கும் இந்திய விண்வெளி ஆய்வு நிறுவனம் (ISRO), விண்வெளித் திட்டங்களை, இந்தியாவில் பல இடங்களில் உள்ள தனது அமைப்புகள் மூலமாக செயல்படுத்தி வருகிறது (தமிழ்நாட்டில் மகேந்திரகிரி, ஆந்திரப் பிரதேசத்தில் ஸ்ரீ ஹரிகோட்டா, கேரளத்தில் திருவனந்தபுரம், கர்நாடகாவில் பெங்களூர், குஜராத்தில் அகமதாபாத்). துணைக்கோள் ஒன்றை வடிவமைக்க, உருவாக்க மற்றும் புவியின் சுற்றுப்பாதையில் ஏவுவதற்கு திறமை படைத்த உலக நாடுகளில் நமது இந்தியா ஆறாவது நாடாக விளங்குகிறது. இந்திய விண்வெளி ஆய்வு வரலாற்றின் முக்கிய நிகழ்வுகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

இந்தியத் துணைக்கோள்கள்

1. ஆரியபட்டா - முதல் இந்தியத் துணைக்கோள் 1975-ம் ஆண்டு ஏப்ரல் மாதம் 19-ம் தேதி ஏவப்பட்டது.

2. பாஸ்கரா - 1

3. ரோகிணி (Rohini)

4. ஆப்பிள் (APPLE) – Ariane Passenger Pay Load Experiment என்பதன் சுருக்கம் APPLE ஆகும். இதுவே, புவி - நிலைச் சுற்றுப்பாதையில் வைக்கப்பட்ட முதல் இந்திய செய்தித் தொடர்பு துணைக்கோளாகும்.

5. பாஸ்கரா - 2

6. இன்சாட் (INSAT) 1A, 1B, 1C, 1D, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E (Indian National Satellite). இந்திய தேசியத் துணைக் கோள் அமைப்பு என்பது, விண்வெளித் துறை, தொலைத் தொடர்புத் துறை, இந்திய வானிலை ஆராய்ச்சித் துறை, அகில இந்திய வானொலி மற்றும் தொலைக்காட்சி போன்றவற்றின் கூட்டமைப்பாகும்.

7. SROSS – A, B, C மற்றும் D (Stretched Rohini Satellite Series)

8. IRS – 1A, 1B, 1C, 1D, P2, P3, P4, P5, P6 (Indian Remote Sensing Satellite)

IRS-ல் இருந்து பெறப்படும் தகவல்கள், வறட்சி நிலவரம், வெள்ளத்தால் (Flood) ஏற்படும் அழிவினை மதிப்பிடுதல், வெள்ள அபாயப் பகுதிகளைக் குறித்தல், நகர்ப்புறத் திட்டமிடல், தாதுப் பொருள்கள் கணிப்பு, காடுகள் கணிப்பு போன்றவற்றில் பயன்படுகின்றன.

9. METSAT (கல்பனா - I) வானிலை ஆய்விற்காக மட்டுமே அனுப்பப்பட்ட முதல் துணைக்கோள்.

10. GSAT – 1, GSAT – 2 (புவி-நிலைத் துணைக்கோள்கள்)

இந்திய ஏவு வாகனங்கள் (ராக்கெட்டுகள்)

1. SLV–3 – இது இந்தியாவின் முதல் சோதனை முறையிலான துணைக்கோள் ஏவும் வாகனமாகும். Satellite Launch Vehicle என்ற இந்த SLV – 3 ராக்கெட் 22 m நீளமும், 17 டன்கள் நிறையும் உடையது. இதன் நான்கு கட்டங்களிலும் திட எரிபொருள் பயன்படுத்தப்பட்டது.

இந்திய விண்வெளித் திட்டத்தின் தந்தையான Dr. விக்ரம் சாராபாய் அவர்களின் தொலைநோக்குப் பார்வையே, இந்திய விண்வெளித் திட்டத்தை வழிநடத்துகிறது.

‘‘வளரும் நாட்டில், விண்வெளிச் செயல்பாடுகள் அவசியமா என வினவுபவர்கள் சிலர் இருக்கின்றனர். இதில், நமக்குக் குழப்பம் இல்லை. நிலவு அல்லது கோள்கள் அல்லது மனிதன் செல்லும் விண்வெளி ஓடம் போன்ற ஆய்வுகளை நடத்தும், பொருளாதாரத்தில் முன்னேற்றம் அடைந்த நாடுகளுடன் போட்டியிடும் எண்ணம் நமக்கு இல்லை. மற்ற நாடுகளை ஒப்பிடுகையில், நாம் மற்ற எவருக்கும் சளைத்தவர்கள் அல்ல என்பதைக் காட்டும் வகையில் மனித சமுதாயத்தில் சிறப்புத் தொழில் நுட்பங்களின் பயன்களைப் புகுத்த வேண்டும்.

2. ASLV – Augmented Satellite Launch Vehicle. இது 40 டன்கள் நிறையும், 23.8 m நீளமும் உடைய திட எரிபொருளால் இயக்கப்பட்ட ஐந்து கட்ட ராக்கெட் ஆகும்.

3. PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle) - துருவத் துணைக்கோளை ஏவும் இந்த ராக்கெட்டில் உள்ள நான்கு கட்டங்கள், திட மற்றும் திரவ எரிபொருளை மாறிமாறி பயன்படுத்தும். இது 44.4 m நீளமும், 294 டன்கள் நிறையும் உள்ளது.

4. GSLV (Geosynchronous satellite launch vehicle) – புவி ஒத்திருக்கும் துணைக்கோள் ஏவும் ராக்கெட்டான GSLV-ல் மூன்று கட்டங்கள் உள்ளன. இது 49 m நீளமும், 414 டன்கள் நிறையும் உடையது. GSLV ராக்கெட், 1800 kg நிறையுடைய துணைக்கோளை எடுத்துச் சென்று, சுற்றுப் பாதையில் வைக்கும் திறன் பெற்றது.

இந்தியாவின் முதல் நிலவுப் பயணம்

2008-ஆம் ஆண்டில் ஆளில்லா விண்வெளிக் கப்பலை நிலவுக்கு அனுப்ப இஸ்ரோ (ISRO) திட்டமிட்டுள்ளது. இந்த விண்வெளிக் கப்பலுக்கு சந்திரயான் - 1 என பெயரிடப்பட்டுள்ளது. நிலவைப் பற்றிய அறிவியல் அறிவை விரிவாக்கம் செய்யவும், இந்தியத் தொழில்நுட்பத் திறமையை மேம்படுத்தவும், இளைய தலைமுறையினருக்கு கோள்கள் பற்றிய ஆராய்ச்சிக்கான வாய்ப்புக்களை ஏற்படுத்திக் கொடுக்கவும் பெரிதும் பயன்படும். இந்த நிலவுப் பயணத்திற்கு 5½ நாள்கள் ஆகும் எனக் கணக்கிடப் பட்டுள்ளது.

சந்திரயான் - 1, நிலவின் பரப்பிற்கு மேலே 100 km உயரத்தில், சுற்றுப் பாதையில் சுற்றிக்கொண்டு நிலவினை ஆய்வு செய்யும். சந்திரயான் - 1ஐ PSLV - ராக்கெட் எடுத்துச் செல்லும்.

4.9.8 எடையின்மை

புவியைச் சுற்றி வரும் விண்வெளிக் கப்பல்களினுள் இருக்கும் விண்வெளி வீரர்களும் பொருள்களும் மிதப்பதை (Float) தொலைக்காட்சிப் படங்களிலும் நிழற் படங்களிலும் பார்த்திருக்கலாம். இந்தத் தோற்ற எடையின்மை சுழி-ஈர்ப்பு (zero gravity) நியதியினால் ஏற்படுகிறது என தவறுதலாகக் கூறப்படுவதுண்டு. பிறகு, எதனால் ஏற்படுகிறது?

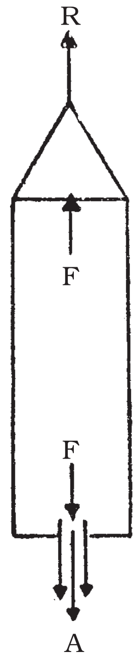
விண்வெளி வீரர், தரையில் நிற்பதாகக் கருதவும். தரையின் மீது அவர் விசையைச் (எடையை) செயல்படுத்துகிறார். அதே நேரத்தில், தரையும் அவர் மீது சமமான, எதிர்ச்செயல் விசையை எதிர்த்திசையில் ஏற்படுத்துகிறது. இந்த எதிர்ச்செயல் விசையின் காரணமாகவே அவர் தனது எடையை உணர்கிறார்.

சுற்றிவரும் விண்வெளிக் கப்பலுக்குள் விண்வெளி வீரர் இருக்கும்போது, அவருக்கும் விண்வெளிக் கப்பலுக்கும் புவியின் மையத்தை நோக்கிய சம முடுக்கம்

இருக்கும். எனவே, விண்வெளி வீரர், விண்வெளிக் கப்பலின் தரை மீது எவ்வித விசையையும் செயல்படுத்துவதில்லை. ஆகவே, விண்வெளிக்கப்பலும் அவர்மீது எதிர்ச்செயல் விசையை ஏற்படுத்துவதில்லை. எதிர்ச்செயல் விசை இல்லையாதலால், விண்வெளி வீரர் எடையின்மையை உணர்கிறார்.

4.9.9 ராக்கெட்டுகள் - தத்துவம்

தனது நிறையின் ஒரு பகுதியை வெளியேற்றித் தானே இயங்கும் ஒரு வாகனம் ராக்கெட் எனப்படும். ராக்கெட்டுகள், துணைக்கோள்களைக் கொண்டு செல்லப் பயன்படுகின்றன. PSLV மற்றும் GSLV ராக்கெட்டுகளைப் பற்றி கேள்விப்பட்டிருக்கிறோம். இவை அனைத்தும் நியூட்டனின் மூன்றாம் இயக்க விதியின் அடிப்படையில் அமைந்தவை.



படம் 4.14
ராக்கெட்டின் தத்துவம்

இருபுறமும் மூடப்பட்ட, ஒரு முனையில் சிறிய துவாரம் உள்ள உள்ளீடற்ற உருளை வடிவ, கொள்கலன் ஒன்றைக் கருதுக (படம் 4.14). அதனுள் எளிதில் எரியக்கூடிய எரிபொருள் கலவை நிரப்பப்பட்டிருக்கும். எரிபொருள் எரியூட்டப்பட்டால், அதிக அழுத்தத்தில் வாயுவாக மாறும். இந்த உயர் அழுத்தம், வாயுவைத் தூம்பு வாயின் **(Nozzle)** வழியே மிக அதிக விசையுடன் வெளியே தள்ளும். இவ்விசை செயல் A எனக் குறிப்பிடப்படும். எனவே எதிர்விசை ஒன்று அதாவது எதிர்ச்செயல் R, கொள்கலன் மீது செயல்பட்டு, அதனை முன்னோக்கி இயங்கச் செய்கிறது.

வெளியேறும் வாயுக்களின் நிறை மீதான விசை, எனவே, ராக்கெட் மீதான விசையானது (F_m), ஓரலகு காலத்தில் வெளியேறும் வாயுவின் நிறைக்கும் $\left(\frac{dm}{dt}\right)$ வெளியேறும் வாயுவின் திசைவேகத்திற்கும் (v) நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

அதாவது, $F_m \,\alpha\, \frac{dm}{dt}\, v \quad \left[\because F \alpha \frac{d}{dt}(m\ v)\right]$

இவ்விசை, உந்த அமுக்கம் **(momentum thrust)** எனப்படும். வெளியேறும் வாயுவின் அழுத்தம் (P_e), ராக்கெட்டிற்கு வெளியே உள்ள அழுத்தத்துடன் (P_o) மாறுபடின், கூடுதலாக திசைவேக அமுக்கம் (F_v) என்ற விசை செயல்படும். A என்பது வாயுக்கள் வெளியேறும் தூம்பு வாயின் பரப்பு எனில், $F_v = A\ (P_e - P_o)$

எனவே, ராக்கெட்டின் மீதான மொத்த விசை, $F = F_m + F_v$

4.9.10 எரிபொருள்களின் வகைகள்

எளிதில் எரியக்கூடிய பொருள்களின் கலவையினால் உருவாகும் வெப்பமான வாயுக்கள் இயக்கு பொருள்கள் **(Propellants)** எனப்படும். கலவை என்பது தீப்பற்றி

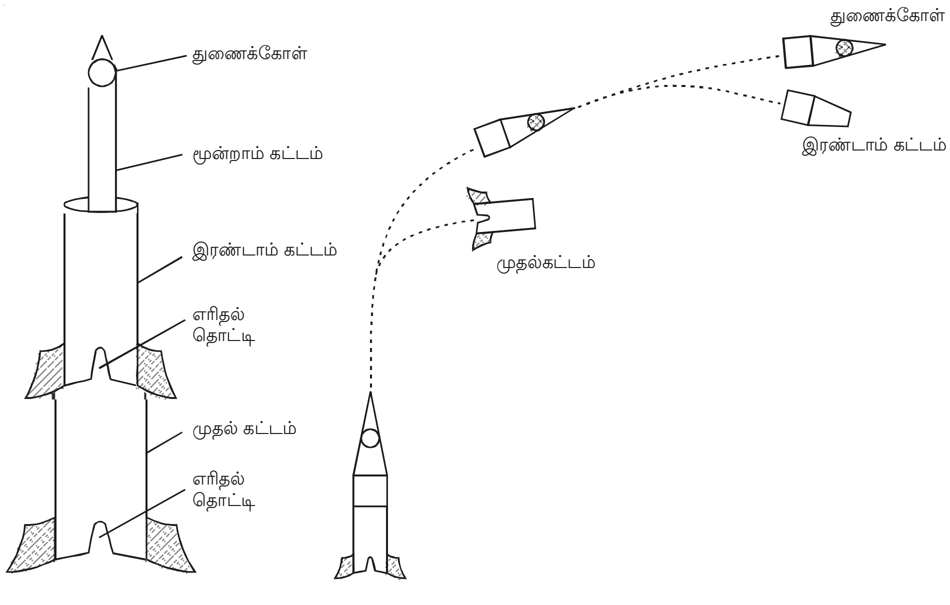
எரியும் எரிபொருள் மற்றும் எரிதலுக்குத் தேவையான ஆக்சிஜனைக் கொடுக்கும் ஆக்சிகரணி (oxidizer) ஆகியவற்றின் கூட்டாகும். இயக்குபொருள்கள் திட வடிவில் அல்லது திரவ வடிவில் இருக்கலாம்.

4.9.11 துணைக்கோள் ஏவப்படுதல்

300 km உயரத்திற்கு துணைக்கோள் ஒன்றை எடுத்துச்செல்ல, ஏவுத் திசைவேகம் குறைந்தபட்சம் 8.5 km/s அல்லது 30600 kmph ஆக இருக்க வேண்டும். இந்த மிக அதிகத் திசைவேகம், புவியின் பரப்பில் ராக்கெட்டுக்குக் கொடுக்கப்பட்டால், காற்றின் உராய்வு காரணமாக அது எரிந்து விடும். மேலும், இவ்வளவு அதிகத் திசைவேகங்களை ஒருகட்ட ராக்கெட் ஒன்றினால் ஏற்படுத்த முடியாது.

துணைக்கோள் ஒன்றை, சுற்றுப்பாதையில் வைத்திட, ஏவும் ராக்கெட்டினால், அது தேவையான உயரத்திற்கு உயர்த்தப்பட்டு பின்பு சரியான திசையில், சரியான வேகம் கொடுக்கப்படும் (படம் 4.15).

ஆளில்லா (unmanned) அல்லது ஆளுள்ள (manned) துணைக்கோள் உச்சியில் இருக்க, ராக்கெட்டானது ஏவுதளத்தில் செங்குத்தாக இறுக்கிகளால் (clamps) நிறுத்தப்பட்டிருக்கும். தற்போது, ராக்கெட்டின் எடையை விஞ்சும் (exceed) அளவிற்கு வெளியேறும் வாயுக்கள் நேர்க்குத்து விசையை (upward thrust) உருவாக்கும். பிறகு, தொலைக்கட்டுப்பாடு மூலம் (remote control) இறுக்கிகளை நீக்கினால் ராக்கெட் மேல்நோக்கி முடுக்கமடையும்.



படம் 4.15 **துணைக்கோள் ஏவப்படுதல்**

வளிமண்டலத்தின் அடர்த்தியான கீழ்ப்பகுதியை ஊடுருவிச் செல்ல, தொடக்கத்தில் ராக்கெட் செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் செல்லும். பிறகு, வழிநடத்து அமைப்பு மூலம் சாய்வாகச் செல்லுமாறு செய்யப்படும். ராக்கெட்டின் முதல் கட்டம் ஏறத்தாழ 2 நிமிடங்கள் எரியூட்டப்பட்டு, $3\ kms^{-1}$ வேகத்தில் ராக்கெட்டை 60 km உயரத்திற்கு கொண்டு செல்லும். பிறகு, முதல் கட்டம் ராக்கெட்டிலிருந்து பிரிந்து புவியில் கீழே விழுந்து விடும்.

தற்போது, ராக்கெட் தனது சுற்றுப்பாதை இருக்கும் உயரத்திற்குச் சென்று (160 km), குறுகிய காலத்தில் கிடக்கையாக இயங்கும். பிறகு ராக்கெட்டின் இரண்டாம் கட்டம் எரியூட்டப்பட்டு, சுற்றுப்பாதைக்குத் தேவையான வேகத்தை அதிகரிக்கும். தொலைக்கட்டுப்பாட்டு அமைப்பின் மூலம், சிறிய ராக்கெட்டுகள் எரியூட்டப்பட்டு, இரண்டாம் கட்டத்திலிருந்து துணைக்கோளைப் பிரித்து, சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிவரச் செய்யப்படும்.

4.10 அண்டம் (Universe)

வான்பொருள்களின் இயக்கங்கள், இருப்பிடங்கள் மற்றும் அவற்றின் ஆக்கக் கூறுகள் (composition) போன்றவற்றை அறியும் அறிவியலின் பிரிவு வானவியல் (astronomy) எனப்படும். விண்மீனான (star) சூரியனை கோள்கள் சுற்றிவருகின்றன. பால்வழித்திரள் (milky way) எனப்படும் நமது விண்மீன் திரளில் (Galaxy) இருக்கக்கூடிய நூறு பில்லியன் விண்மீன்களில் சூரியனும் ஒன்று. ஈர்ப்பியல் விசை காரணமாக ஒன்றுடன் ஒன்று பிணைக்கப்பட்ட ஏராளமான விண்மீன்களின் தொகுப்பு விண்மீன் திரள் எனப்படும். இது போன்று பில்லியன்கள் விண்மீன்கள் சேர்ந்தது அண்டம் ஆகும். ஆகவே, சூரியக் குடும்பம், விண்மீன்கள் மற்றும் விண்மீன் திரள்கள் போன்றவை அண்டத்தின் பகுதிகளாகும்.

4.10.1 சூரியக் குடும்பம் (Solar system)

அமைப்பின் மையத்தில் சூரியன் இருக்க, அமைப்பில் உள்ள கோள்கள், நிலவுகள், சிறுகோள்கள், வால்மீன்கள் போன்ற அனைத்து வான் பொருள்களையும் சூரியன் தன்னுடன் பிணைத்து வைத்திருக்கும், அண்டத்தின் ஒரு பகுதியை சூரியக் குடும்பம் என்கிறோம். சுற்றிவரும் கோள்கள் மற்றும் மற்ற வான்பொருள்களின் இயக்கத்தை முதன்மையாகக் கட்டுப்படுத்துவது சூரியனின் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சியாகும். புதன் (Mercury), வெள்ளி (Venus), புவி (Earth), செவ்வாய் (Mars), வியாழன் (Jupiter), சனி (Saturn), யுரேனஸ் (Uranus), நெப்டியூன் (Neptune), மற்றும் புளூட்டோ (Pluto) போன்ற ஒன்பது கோள்கள் சூரியனைச் சுற்றி வருகின்றன. வெள்ளிக் கோளினை, அதிகாலையில் கிழக்கு வானிலும், மாலையில் மேற்கு வானிலும் நாம் காணலாம். சூரிய மறைவிற்குப் பின் மேற்கிலும், சூரிய உதயத்திற்கு முன் கிழக்கிலும் புதன் கோளினையும் சில நேரங்களில் காண முடியும். 2003-ஆம் ஆண்டு ஆகஸ்டு மாதம் 27-ம் தேதி, செவ்வாய் கோளானது புவிக்கு மிக அருகில்

வந்ததால் அதனை நம்மால் நன்கு காண முடிந்தது. 380×10^6 km தொலைவிலிருந்து, 60000 ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு செவ்வாய் கோள், நம் புவிக்கு மிக அருகில் 55.7×10^6 km தொலைவில் இருந்தது. 2287-ம் ஆண்டு, மீண்டும் இது போன்று நிகழும்.

சூரியக் குடும்பத்தைப் பற்றிய சில செய்திகள் அட்டவணை 4.1-ல் தொகுக்கப்பட்டுள்ளன.

4.10.2 கோள்களின் இயக்கம்

முற்காலத்தில் வானியலாளர்கள், சூரியக் குடும்பத்தின் கோள்களைக் கண்டறிவதிலும், பல ஆண்டுகள் கால இடைவெளியில் வானில் அவற்றின் நிலைகள் மாறுவதைக் குறிப்பிடுவதிலும் ஆர்வம் காட்டினர். இந்தத் தகவல்கள், சூரியக் குடும்ப மாதிரிகளையும், கொள்கைகளையும் நிறுவ வழி வகுத்தன.

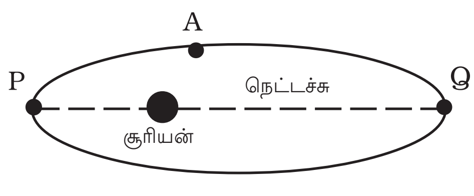
கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய முதல் கொள்கையான புவி-மையக் கொள்கையை கிரேக்க வானியலாளர் தாலமி உருவாக்கினார். அண்டத்தின் மையத்தில் புவியும், புவியை மையமாகக் கொண்டு அனைத்துக் கோள்களும் நிலவுகளும் விண்மீன்களும் வெவ்வேறு சுற்றுப்பாதைகளில் சுற்றி வருகின்றன. 5-ஆம் நூற்றாண்டில் வாழ்ந்த, இந்தியாவின் மிகச்சிறந்த கணித வல்லுநரும் வானியலாளருமான ஆரியபட் என்பவர் புவி தனது அச்சில் சுழல்வதாகக் கூறினார். கீழை நாடுகளுக்கும் மேல்நாடுகளுக்கும் இடையேயான செய்தித் தொடர்பு இல்லாததால், அவரின் கருத்து மேல்நாட்டு அறிஞர்களைச் சென்றடையவில்லை.

போலந்து நாட்டு வானியலாளர், நிகாலஸ் கோபர்நிகஸ் என்பவர் கதிரவ மையக் கொள்கை என்ற புதிய கொள்கையைக் கூறினார். இக்கொள்கையின்படி, அனைத்துக் கோள்களும் ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் சூரியனை வட்டப்பாதைகளில் சுற்றிவருகின்றன. கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய மிகத் துல்லியமான காட்சிப் பதிவுகளை டேனிஷ் வானியலாளர் டைகோ பிரஹே பதிவு செய்தார். இவரின் காட்சிப் பதிவுகளை, ஜெர்மன் வானியலாளர் ஜொகனஸ் கெப்ளர் என்பவர் கவனமாகப் பகுத்துப் பார்த்து, கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய எண்மான விதிகளை (empirical) வகுத்தார்.

கோள்களின் இயக்கத்திற்கான கெப்ளரின் விதிகள்

(i) சுற்றுப்பாதைகளுக்கான விதி

சூரியனை ஒரு குவியமாகக் கொண்டு, ஒவ்வொரு கோளும் அதனை நீள்வட்டப் பாதையில் சுற்றிவருகிறது.



படம் 4.16 சுற்றுப்பாதைக்கான விதி

A என்பது சூரியனைச் சுற்றிவரும் கோளாகும். சூரியனுக்கு மிக நெருக்கத்தில்

அட்டவணை 4.1 சூரியக் குடும்பத்தில் உள்ள பொருள்களின் பண்புகள் (தேர்வுக்கு உரியதன்று)

$g_E = 9.8\ m\ s^{-2}$, 1 ஆண்டு = 365.257 நாள்கள் ; 1 AU = 1.496×10^8 km ; R_E = 6378 km ; $M_E = 5.98 \times 10^{24}$ kg

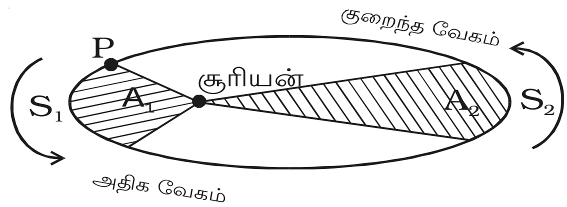
பொருள்கள்	புவியின் அலகில் நிறை	சுற்றுப்பாதையின் அரை-நெட்டச்சு (AU)	சுற்றுக்காலம் (ஆண்டுகளில்)	சுழற்சிக் காலம்	சராசரி அடர்த்தி ($kg\ m^{-3}$)	புவியின் அலகில் ஆரம்	புவியின் அலகில் g	விடுபடு வேகம் (km/s)	வளி மண்டலம்	எதிரொளிப்புத் திறன்	துணைக்கோள்களின் எண்ணிக்கை
புதன்	0.056	0.387	0.241	58.6 days	5,400	0.38	0.367	4	இல்லை	0.06	0
வெள்ளி	0.815	0.723	0.615	243 days (E → W)	5100	0.96	0.886	10.5	CO_2	0.85	0
புவி	1.000	1.000	1.000	23 hours 56.1 minutes	5520	1.00	1.000	11.2	N_2O_2	0.40	1
செவ்வாய்	0.107	1.524	1.881	24 hours 27.4 minutes	3970	0.53	0.383	5	CO_2	0.15	2
செரஸ் (சிறுகோள்)	0.0001	2.767	4.603	90 hours	3340	0.055	0.18	–	–	–	
வியாழன்	317.9	5.203	11.864	9 hours 50.5 minutes	1330	11.23	2.522	60	He, CH_4, NH_3	0.45	38
சனி	95.2	9.540	29.46	10 hours 14 minutes	700	9.41	1.074	37	He, CH_4	0.61	30 + 3 வளையங்கள்
யுரேனஸ்	14.6	19.18	84.01	10 hours 49 minutes (E → W)	1330	3.98	0.922	21	H_2, He, CH_4	0.35	24
நெப்டியூன்	17.2	30.07	164.1	15 hours	1660	3.88	1.435	22.5	H_2, He, CH_4	0.35	2
புளூட்டோ	0.002	39.44	247	6.39 days	2030	0.179	0.051	1.1	–	0.14	0
நிலவு	0.0123	–	–	27.32 days	3340	0.27	0.170	2.5	Nil	0.07	–

கோள் இருக்கும் நிலை (P) அண்மைநிலை (Perigee) எனவும், சூரியனுக்கு மிக அதிகமான தொலைவில் கோள் இருக்கும் நிலை (Q) சேய்மைநிலை (Apogee) எனவும் கூறப்படும்.

(ii) பரப்புகளின் விதி (Law of areas)

சூரியனையும் கோளினையும் இணைக்கும் கோடு (ஆர வெக்டர்) சமகால இடைவெளிகளில் சம பரப்புகளை ஏற்படுத்தும்.

சூரியனைச் சுற்றும் கோள் ஒன்றின் சுற்றுப்பாதை படம் 4.17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆரவெக்டர் சமகாலங்களில் A_1 மற்றும் A_2 என்ற பரப்புகளை ஏற்படுத்துகிறது. கோளானது, S_1 மற்றும் S_2 சமமற்ற பரப்புகளை, சம காலத்தில் கடக்கிறது. கோளின் வேகம் மாறுவதே இதற்குக் காரணமாகும். கோள், சூரியனுக்கு மிக அருகில் உள்ளபோது, குறிப்பிட்ட காலத்தில் அதிக தொலைவைக் கடக்கிறது. எனவே, அண்மை நிலையில், கோளின் வேகம் பெருமம் ஆகும். கோள், சூரியனிடமிருந்து மிக நீண்ட தொலைவில் உள்ளபோது, அதே குறிப்பிட்ட காலத்தில் குறைந்தத் தொலைவைக் கடக்கிறது. எனவே, சேய்மை நிலையில், கோளின் வேகம் சிறுமம் ஆகும்.



படம் 4.17 பரப்புகளின் விதி

பரப்புகளின் விதியை மெய்ப்பித்தல்

கோள் ஒன்று A-யிலிருந்து B-க்கு இயங்குவதாகக் கருதுவோம். dt என்ற சிறிய கால இடைவெளியில் ஆரவெக்டர் OA மையத்தில் dθ கோணத்தை ஏற்படுத்துகிறது.

படம் 4.18-லிருந்து, $AB = rd\theta$. ஆரம் ஏற்படுத்தும் சிறிய பரப்பு,

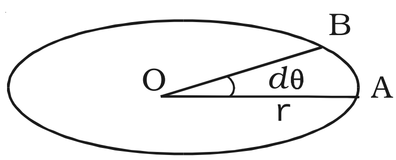
$$dA = \frac{1}{2} \times r \times rd\theta$$

இருபுறமும் dt-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} \times r^2 \times \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \omega$$

(ω என்பது கோணத் திசைவேகம்)



படம் 4.18 பரப்புகளின் விதியை மெய்ப்பித்தல்

கோண உந்தம், $L = mr^2\omega$

$$\therefore\ r^2\omega = \frac{L}{m}$$

எனவே, $\dfrac{dA}{dt} = \dfrac{1}{2}\dfrac{L}{m}$

ஈர்ப்பியல் விசை செயல்படும் கோடு, அச்சின் வழியே செல்வதால், புறத் திருப்பு விசை சுழியாகும். எனவே கோணஉந்தம் மாறாது.

$$\therefore\ \frac{dA}{dt} = \text{மாறிலி}$$

அதாவது, ஓரலகு காலத்தில் ஆரவெக்டர் ஏற்படுத்தும் பரப்பு சமம்.

(iii) சுற்றுக்காலங்களின் விதி

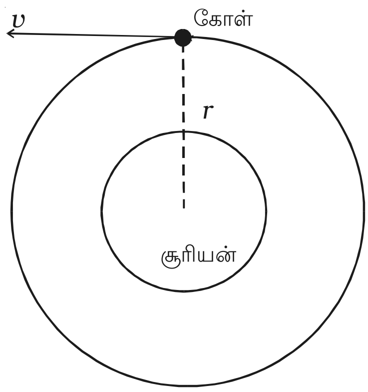
சூரியனைச் சுற்றும் கோளின் சுற்றுக்காலத்தின் இருமடி, சூரியனுக்கும் அக்கோளிற்கும் இடையே உள்ள சராசரித் தொலைவின் மும்மடிக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

அதாவது, $T^2 \propto r^3$

$$\frac{T^2}{r^3} = \text{மாறிலி}$$

சுற்றுக்காலங்களின் விதியை மெய்ப்பித்தல்

m நிறையுடைய கோள் ஒன்று v திசைவேகத்தில், M நிறையுடைய சூரியனை r ஆரமுள்ள வட்டப்பாதையில் சுற்றிவருவதாகக் கருதுவோம்.



படம் 4.19 சுற்றுக்காலங்களின் விதியை மெய்ப்பித்தல்

சூரியனுக்கும் கோளிற்கும் இடையேயான

ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசை, $F = \dfrac{GMm}{r^2}$

மையநோக்கு விசை, $F = \dfrac{mv^2}{r}$

இரு விசைகளையும் சமப்படுத்த,

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$v^2 = \frac{GM}{r} \qquad .....(1)$$

சூரியனைச் சுற்றிவரும் கோளின் சுற்றுக்காலம் T எனில்,

$$v = \frac{2\pi r}{T} \qquad .....(2)$$

சமன்பாடு (2)-ஐ (1)-ல் பிரதியிட,

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM}{r}$$

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

எந்த ஒரு கோளிற்கும் GM மாறிலியாகும்.

$$\therefore T^2 \propto r^3$$

4.10.3 சூரியக் குடும்பத்திலுள்ள வான்பொருளின் தொலைவு

கோள் ஒன்றின் தொலைவினை, ரேடார் எதிரொளி முறை மூலம் துல்லியமாகக் கணக்கிட முடியும். இம்முறையில், ரேடார் கருவியிலிருந்து ரேடியோ சைகைகள், கோளினை நோக்கி அனுப்பப்படும். இச்சைகைகள், கோளின் பரப்பினால் எதிரொளிக்கப்பட்டு மீண்டும் வரும். எதிரொளித்து வரும் சைகை அல்லது துடிப்பு புவியில் ஏற்கப்பட்டு கண்டறியப்படும். சைகையானது, கோளிற்குச் சென்று மீண்டு வரும் காலம் t குறிக்கப்படும். சைகை, ஒளியின் திசைவேகத்தில் (c) செல்கிறது. எனவே,

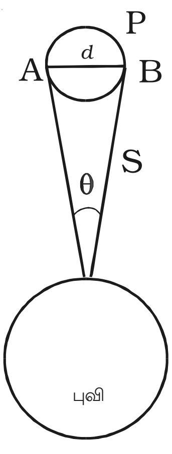
புவியிலிருந்து கோளின் தொலைவு, $s = \frac{ct}{2}$

4.10.4 கோளின் பருமன்

கோளின் தொலைவு (s) அறியப்பட்டால் அதன் பருமனைக் கணக்கிட முடியும். ஒளியியல் தொலைநோக்கி மூலம் காணும்போது, ஒவ்வொரு வான் பொருளும் வட்டத்தட்டு போன்று தெரிகின்றன. புவியின் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியைப் பொருத்து அந்த வட்டத்தட்டின் விளிம்புப் புள்ளிகள் A மற்றும் B ஏற்படுத்தும் கோணத்தை (θ) தொலைநோக்கியைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். இந்தக் கோணம் கோளின் கோண விட்டம் எனப்படும். எனவே கோளின் நேர்க்கோட்டு விட்டம்.

d = தொலைவு × கோணவிட்டம்

$$d = s \times \theta$$



படம் 4.20
கோளின் பருமன்

4.10.5 கோள்களின் புறப்பரப்பு வெப்பநிலைகள்

கோள்கள், தாங்களாகவே ஒளியை உமிழ்வதில்லை. அவற்றின் மீது விழும் சூரிய ஒளியை அவை எதிரொளிக்கின்றன. சூரியக் கதிர்வீச்சின் சிறு பகுதி மட்டுமே உட்கவரப்பட்டு கோளின் பரப்பு வெப்பப்படுத்தப்படுகிறது. பிறகு, அது ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சாக உமிழ்கிறது. கதிர்வீச்சு பற்றிய ஸ்டீபன் விதி $E = \sigma T^4$-ல் இருந்து, கோளின் பரப்பு வெப்பநிலையைக் கணக்கிடலாம். இவ்விதியில், σ என்பது ஸ்டீபன் மாறிலி மற்றும் E என்பது ஓரலகு காலத்தில் ஓரலகுப் பரப்பு உமிழும் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் ஆகும்.

சூரியனிடமிருந்து தொலைவு அதிகரிக்கும் போது கோள்களின் வெப்பநிலை குறையும். ஏனெனில் எதிர்த்தகவு இருமடி விதியின்படி கோள்கள் ஏற்கும் சூரிய ஆற்றல் குறைவு. எனவே, சூரியனுக்கு அருகில் உள்ள கோள்களைக் காட்டிலும், வெகுதொலைவில் உள்ள கோள்கள் மிகவும் குளிர்ச்சியாக இருக்கின்றன. புதன் கோளின் பகல் நேர வெப்பநிலை பெருமம் (340°C) ஏனெனில், அது சூரியனுக்கு மிக அருகில் உள்ளது. புளூட்டோ கோளின் வெப்பநிலை சிறுமம் (–240°C) கார்பன்-டை-ஆக்சைடு உடைய வளிமண்டலத்தைப் பெற்றிருப்பதால், வெள்ளி ஒரு விதிவிலக்காக உள்ளது. இந்த வளிமண்டலம் ஒரு போர்வை போன்று செயல்பட்டு வெள்ளியின் புறப்பரப்பை வெப்பமாக வைத்துள்ளது. ஆகவே, மற்றவற்றுடன் ஒப்பிடும்போது, வெள்ளியின் வெப்பநிலை 480°C என்ற மிக அதிக அளவில் உள்ளது.

4.10.6 சூரியன் மற்றும் கோள்களின் நிறை

அண்டத்தில், வான்பொருள் ஒன்று, மற்றொரு கனமான (நிறைமிக்க) வான்பொருளைச் சுற்றி வருகிறது. (புவி, சூரியனைச் சுற்றி வருகிறது; நிலவு, புவியைச் சுற்றி வருகிறது). நிறை குறைவான பொருள், நிறைமிக்க பொருளைச் சுற்றி வரத் தேவைப்படும் மைய நோக்கு விசையை, அவ்விரண்டிற்கிடையேயான ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசை அளிக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட ஆரம் உடைய சுற்றுப் பாதையில் நிறைகுறைவானப் பொருள் சுற்றிவர வேண்டிய வேகத்தை, நிறைமிக்க பொருள் நிர்ணயிக்கிறது. நிறைகுறைவானப் பொருளின் சுற்றுக்காலம் தெரிந்தால் நிறைமிக்க பொருளின் நிறையைக் கணக்கிடலாம். எடுத்துக்காட்டாக, சூரியன்-புவி அமைப்பில், புவியிலிருந்து சூரியனின் தொலைவு (r), சூரியனைச் சுற்றும் புவியின் சுற்றுக்காலம் (T) மற்றும் ஈர்ப்பியல் மாறிலி (G) போன்றவை தெரியுமாயின், சூரியனின் நிறையை

$M = \dfrac{4\pi^2}{G}\dfrac{r^3}{T^2}$ என்ற தொடர்பிலிருந்துக் கணக்கிடலாம்.

4.10.7 வளிமண்டலம்

கோள் ஒன்றினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட சூரிய ஆற்றலின் அளவிற்கும் கோளின்மீது படும் சூரிய ஆற்றலின் அளவிற்கும் உள்ள தகவு எதிரொளிப்புத் திறன் (albedo) எனப்படுகிறது. எதிரொளிப்புத் திறன் பற்றிய கருத்தைக் கொண்டு கோள்களில்

வளிமண்டலம் இருப்பதை அறியலாம். வெள்ளிக்கோளின் எதிரொளிப்புத் திறன் 0.85. ஒன்பது கோள்களில், இக்கோள் மிக அதிகமாக அதாவது, படுகின்ற ஒளியில், 85% எதிரொளிக்கிறது. எனவே, இதனைச் சுற்றிலும் அடர்த்திமிக்க வளிமண்டலம் இருக்க வேண்டும். புவி, வியாழன், சனி, யுரேனஸ் மற்றும் நெப்டியூன் கோள்களிலும் வளிமண்டலம் இருக்கிறது. ஏனெனில், இவற்றின் எதிரொளிப்புத் திறன் அதிகமாக உள்ளது. புதன் கோளும் நிலவும் 6% அளவு சூரிய ஒளியை எதிரொளிக்கின்றன. எனவே, இவற்றில் வளிமண்டலம் இல்லை எனத் தெரிகிறது. அண்மையில் அனுப்பப்பட்ட விண்வெளி நுண்ணாய்விகளும் இக்கருத்தை உறுதிப்படுத்தின.

கோள்களில் வளிமண்டலம் உள்ளதா, இல்லையா என்பதை இரு காரணிகள் நிர்ணயிக்கின்றன. அவைகள் **(i)** அவற்றின் பரப்பில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் மற்றும் **(ii)** கோளின் புறப்பரப்பு வெப்பநிலை.

நிலவில் g–ன் மதிப்பு மிகக் குறைவு (புவியின் மதிப்பைப் போல் 1/6 பகுதி). இதன் விளைவாக, நிலவில் விடுபடு வேகமும் மிகக் குறைவு. நிலவின் புறப்பரப்பு வெப்பநிலையில் வளிமண்டலக் காற்று மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசைவேகம், விடுபடு வேகத்தை விட அதிகமாக இருப்பதால் காற்று மூலக்கூறுகள் நிலவின் ஈர்ப்பிலிருந்து தப்பிச் செல்கின்றன.

புதன்கோளின் g மதிப்பு நிலவின் மதிப்பை விட அதிகம். இருந்தபோதிலும், புதனில் வளிமண்டலம் இல்லை. ஏனெனில், புதன், சூரியனுக்கு மிக அருகில் உள்ளதால் வெப்பநிலை அதிகம். எனவே, வாயு மூலக்கூறுகளின் திசைவேகமும் மிக அதிகம். அதனால், மூலக்கூறுகள், ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சியையும் மீறி விடுபட்டுத் தப்பிச் சென்று விடுகின்றன.

4.10.8 கோளொன்றில் உயிரினங்கள் இருக்க நியதிகள்

தாவரங்கள் மற்றும் விலங்குகள் உயிர்வாழ கீழ்க்காண் நியதிகள் கோள் ஒன்றில் இருக்க வேண்டும்.

(i) உயிர்வாழத் தகுந்த வெப்பநிலை கோளில் இருக்க வேண்டும்.

(ii) தேவையான அளவு, உயிரிகளுக்குத் தகுந்த வளிமண்டலம் கோளில் இருக்க வேண்டும்.

(iii) கோளின் பரப்பில் போதுமான அளவு நீர் இருக்க வேண்டும்.

4.10.9 சூரியக் குடும்பத்தில் உள்ள மற்ற பொருள்கள்

(i) சிறுகோள்கள் (asteroids)

செவ்வாய் மற்றும் வியாழன் கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகளுக்கிடையே, சூரியனைச் சுற்றிவரும் சிறிய வான்பொருள்கள் சிறுகோள்கள் எனப்படும். வியாழன்

கோளின் ஈர்ப்பு காரணமாக, உடைந்துபோன மிகப் பெரிய கோளின் துண்டுகள் சிறு கோள்களாகும். ஏறத்தாழ 1600 சிறுகோள்கள் சூரியனைச் சுற்றுகின்றன. அவற்றில் மிகப் பெரியது செரஸ் (Ceres) என்ற சிறுகோளாகும். 700 km விட்டமுடைய அச்சிறுகோள் சூரியனை 4½ ஆண்டுகளுக்கு ஒரு முறை சுற்றி வருகிறது.

(ii) வால்மீன்கள் (Comets)

நீர், அம்மோனியா, மீத்தேன் போன்றவற்றால் சூழப்பட்டுள்ள பாறை போன்றது வால்மீன் ஆகும். இவைகள் எளிதில் ஆவியாகக் கூடியவை. வால்மீன்கள், நீண்ட நீள்வட்டப் பாதையில் சூரியனைச் சுற்றி வருகின்றன. அவை, பெரும்பான்மை நேரங்களில் சூரியனிடமிருந்து வெகுதொலைவிலேயே இருக்கின்றன. வால்மீன், சூரியனை நெருங்கும்போது, சூரியக் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் காரணமாக வெப்பப்படுத்தப்பட்டு, ஆவியாகி ஏறத்தாழ 10000 km விட்டமுடைய தலைப்பகுதி உருவாகிறது. வால்மீனில் தோன்றும் வால்பகுதி எப்போதும் சூரியனுக்கு எதிரான திசையிலேயே இருக்கும். சில வால்மீன்களை குறிப்பிட்ட சீரான கால இடைவெளிகளில் காணலாம். ஹேலியின் வால்மீன் (Halley's comet) சீரான கால இடைவெளியில் தெரிவதாகும். 1910-ம் ஆண்டும் 1986-ஆம் ஆண்டும் அதனைக் காண முடிந்தது. அதனை மீண்டும் 2062-ஆம் ஆண்டில் நம்மால் பார்க்க முடியும்.

(iii) விண்வீழ் சிறுகற்களும் விண்வீழ் பெருகற்களும்

வால்மீன், சூரியனுக்கு மிக அருகில் செல்லும்போது சிறுசிறு துண்டுகளாக உடைகிறது. புவியின் சுற்றுப்பாதை, வால்மீனின் சுற்றுப்பாதையுடன் குறுக்கிடும்போது, உடைந்த துண்டுகள் புவியின்மீது விழுகின்றன. பெரும்பாலான துண்டுகள் புவியின் வளிமண்டலத்தின் உராய்வு காரணமாக எரிந்து விடுகின்றன. அவற்றை விண்வீழ் சிறு கற்கள் அல்லது எரிமீன்கள் (meteors or shooting stars) என்கிறோம். தெளிவான, நிலவற்ற வானத்தில் இந்த எரிமீன்களை நம்மால் காண முடியும்.

வால்மீனின் உடைந்த துண்டுகள் அளவில், பெரியனவாக இருப்பின், புவியின் வளிமண்டலத்தின் உராய்வினால் ஏற்படும் வெப்பத்தை தாங்கிக்கொண்டு, முழுமையாக எரியாமல், புவியின் பரப்பை வந்தடையும். அவற்றை விண்வீழ் பெருகற்கள் (meteorites) என்கிறோம்.

புதன்கோள், செவ்வாய் கோள் மற்றும் நிலவின் பரப்புகளில், ஏராளமான விண்வீழ் பெருகற்கள் மோதுவதால் நிலக்குழிகள் (craters) உருவாகின்றன.

4.10.10 விண்மீன்கள்

மிகப்பெரிய ஏறத்தாழ கோள வடிவிலமைந்த அதிக அளவு கதிர்வீச்சு ஆற்றலை இடையறாது வெளிவிடக்கூடிய வாயுத்திரள் விண்மீன் எனப்படும். பல பில்லியன் விண்மீன்களின் தொகுப்பு, விண்மீன் திரளாகும் (galaxy). விண்மீன்கள் மூன்று

வகைப்படும். அவையாவன, (i) இரட்டை மற்றும் பல்லுறுப்பு விண்மீன்கள் (ii) பொலிவு மாறும் விண்மீன்கள் (iii) ஒளிர் முகில்கள் மற்றும் பேரொளிர் முகில்கள் (novae and super novae)

சூரியனைப் போன்ற ஒற்றை விண்மீன்கள் ஒரு சில மட்டுமே விண்மீன் திரளில் உள்ளன. பெரும்பாலான விண்மீன்கள் இரட்டை விண்மீன்களாகவோ அல்லது பல்லுறுப்பு விண்மீன்களாகவோ உள்ளன. பொது ஈர்ப்பு மையத்தைப் பொருத்து நிலையானச் சமநிலையில் சுற்றிவரும் விண்மீன் சோடிகள் இரட்டை விண்மீன்கள் எனப்படும். பொலிவு மாறும் விண்மீனின் தோற்றப் பொலிவு மாறிக்கொண்டே இருக்கும். சில விண்மீன்கள் பகலிலும் தெரியுமளவிற்குத் திடீரென மிக அதிகப் பொலிவைப் பெற்று, பிறகு சிறிது சிறிதாக மங்கிவிடும். இவ்வகை விண்மீன்கள் ஒளிர் முகில்கள் எனப்படும். மிகப்பெரிய ஒளிர்முகில்கள் பேரொளிர் முகில்கள் எனப்படும்.

இரவு நேரத்தில் வானத்தில் காணப்படும் விண்மீன்கள், சிரியஸ் (வியாதா), கனோபஸ் (அகஸ்தி), ஸ்பைகா (சித்ரா), அர்க்குரஸ் (ஸ்வாதி), பொலரிஸ் (துருவா) என பெயரிடப்பட்டுள்ளன. சூரியனுக்கு அடுத்து, புவிக்கு அருகில் உள்ள விண்மீன் ஆல்பா சென்சுரி (Alpha Centauri) ஆகும்.

சூரியன்

மீஉயர் வெப்பநிலையில் உள்ள, சுயமான பொலிவுடன் இருக்கும் பொருள் சூரியன் ஆகும். சூரியன், பெருமளவு ஹைடிரஜன் கலந்த வாயுக்களால் ஆக்கப்பட்டது. இது, புவிக்கு அருகில் உள்ள விண்மீன் ஆகும். இதன் நிறை ஏறத்தாழ 1.989×10^{30} kg. சூரியனின்ஆரம் ஏறத்தாழ 6.95×10^{8} m. புவியிலிருந்து சூரியன் 1.496×10^{11} m தொலைவில் உள்ளது. இதனை வானியல் அலகு (AU) என்கிறோம். சூரியனின் ஒளி, புவியை 8 நிமிடங்கள் 20 நொடிகளில் வந்தடைகிறது. சூரியனின் பரப்பில் ஈர்ப்பு விசையானது புவிப்பரப்பில் உள்ளதைப்போல் 28 மடங்கு இருக்கிறது.

சூரியன் தன்னச்சைப் பற்றி கிழக்கிலிருந்து மேற்காகச் சுழல்கிறது. துருவப் பகுதியில் அதன் சுழற்சிக் காலம் 34 நாள்கள் மற்றும் நடுக்கோட்டுப் பகுதியில் 25 நாள்கள் ஆகும். 14×10^{6} K வெப்பநிலையில் பொலிவான தட்டு போன்று இருக்கும் சூரியனின் மையப்பகுதி ஒளிமண்டலம் (photosphere) எனப்படும். 6000 K வெப்பநிலையில் உள்ள சூரியனின் வெளிப் புறஅடுக்கு நிறமண்டலம் (chromosphere) எனப்படும்.

*4.10.11 வடிவ விண்மீன் குழுக்கள் **(constellations)***

பெரும்பாலான விண்மீன்கள், வானத்தில் குழுக்களாக ஒன்று சேர்ந்து விலங்குகள் அல்லது மனிதர்கள் வடிவத்தில் அமைந்துள்ளன. இந்த குழுக்களை வடிவ விண்மீன் குழுக்கள் எனலாம். வானத்தில் தெரியும் விண்மீன்கள் 88 வடிவ விண்மீன் குழுக்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன.

தெளிவான, நிலவற்ற வடக்கு வானில், கரடியின் (bear) வடிவத்தில் ஏழு பொலிவு விண்மீன்கள் சேர்ந்த குழுவை, ஜூலை மற்றும் ஆகஸ்டு மாதங்களில் காணலாம். இக்குழுவில் நான்கு விண்மீன்கள் கரடியின் உடலின் நான்கு மூலைகளிலும், மூன்று விண்மீன்கள் அதன் வால் பகுதியிலும் மற்ற சில மங்கலான விண்மீன்கள் கால் பாதங்களிலும் தலையிலும் இருப்பது போல் உள்ளன. இக்குழு அர்ஸா மேஜர் (Ursa Major) அல்லது சப்தரிஷி அல்லது பெரிய கரடி (Great Bear) என அழைக்கப்படுகிறது. ஓரியான் (Orion) என்ற விண்மீன்குழு வேடன் வடிவத்திலும், தரூஸ் (ரிஷபம்) என்ற விண்மீன்குழு காளைமாடு வடிவத்திலும் உள்ளன.

4.10.12 விண்மீன் திரள்

ஈர்ப்பாற்றலால் ஒன்றுசேர்க்கப்பட்ட வாயுக்களையும், புழுதித்துகள்களையும் கொண்ட எண்ணற்ற விண்மீன்களின் தொகுப்பை விண்மீன் திரள் என்கிறோம். விண்மீன் திரள்கள் என்பவை, இயற்கையில் பல பில்லியன் விண்மீன்களைக் கொண்ட கூட்டமைப்பாகும். சில விண்மீன் திரள்கள், வெளிவிடும் மொத்தக் கதிர்வீச்சில் குறைந்த அளவே ரேடியோக் கதிர்வீச்சுக்கள் இருக்கும். அவற்றை இயல்பு விண்மீன் திரள்கள் எனலாம். பால்வழி விண்மீன் திரள் என்ற நமது விண்மீன் திரள், சுருள் வடிவத்தில் இருக்கும் இயல்பு விண்மீன் திரளாகும்.

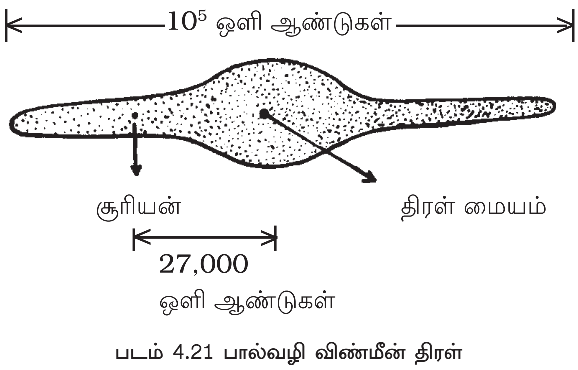
நமக்கு மிக அருகில் உள்ள ஆண்ட்ரோமடா (Andromeda) விண்மீன் திரளும் ஒரு இயல்பு விண்மீன் திரளே ஆகும். இது 2×10^6 ஒளி ஆண்டு தொலைவில் உள்ளது. (ஓராண்டில் ஒளி கடக்கும் தொலைவு 9.467×10^{12} km ஒளி ஆண்டு எனப்படும்). சில விண்மீன் திரள்கள், இயல்பு விண்மீன் திரள்களுடன் ஒப்பிடும்போது மில்லியன்கள் மடங்கு ரேடியோ அலைகளை வெளிவிடுகின்றன.

4.10.13 பால்வழி விண்மீன் திரள்

வானத்தின் குறுக்கே பால் நீரோட்டம் போன்று பால்வழி விண்மீன் திரள் தெரிகிறது.

(i) வடிவமும் அளவும்

பால்வழி விண்மீன் திரள், மையத்தில் தடித்தும் விளிம்புகளில் மெலிந்தும் காணப்படுகிறது. இதன் விட்டம் 10^5 ஒளி ஆண்டுகள் ஆகும். இதன் தடிமன் மையத்தில் 5000 ஒளி ஆண்டுகளாகவும் சூரியன் இருக்குமிடத்தில் 1000 ஒளி ஆண்டுகளாகவும் விளிம்புகளில் 500 ஒளி ஆண்டுகளாகவும்



படம் 4.21 பால்வழி விண்மீன் திரள்

இருக்கிறது. திரளின் மையத்திலிருந்து சூரியன், 27000 ஒளி ஆண்டுகள் தொலைவில் உள்ளது.

(ii) விண்மீன் ஊடு பருப்பொருள் (Interstellar matter)

பால்வழி விண்மீன் திரளில், விண்மீன் ஊடு வெளியில் நிரம்பியுள்ள புழுதித் துகள்களும் வாயுக்களும் விண்மீன் ஊடு பருப்பொருள் எனப்படும். இப்பருப் பொருளில் சுமார் 90% ஹைடிரஜன் உள்ளது.

(iii) விண்மீன் கொத்துக்கள் (Clusters)

பரிமாற்று ஈர்ப்பு விசையின் காரணமாக, விண்மீன் திரளிலுள்ள விண்மீன்கள் ஒன்றிணைந்து கூட்டமாக உள்ளதை விண்மீன் கொத்துக்கள் எனலாம். விண்மீன் கொத்து ஒன்று, விண்மீன் திரளில் ஒன்றிணைந்த அமைப்பாகவே இயங்குகிறது. 100 முதல் 1000 விண்மீன்கள் இருக்கும் கூட்டத்தை திரளியல் விண்மீன் கொத்து (Galactic cluster) எனலாம். 10000 விண்மீன்கள் இருக்கும் கூட்டம் சிறுகோள் விண்மீன் கொத்து (Globular cluster) எனப்படும்.

(iv) சுழற்சி

மையத்தின் வழியே செல்லும் அச்சைப்பற்றி விண்மீன் திரள் சுழல்கிறது. பால்வழி விண்மீன் திரளில் உள்ள அனைத்து விண்மீன்களுமே மையத்தை, சுமார் 300 மில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு ஒரு முறை என்ற வீதத்தில் சுற்றி வருகின்றன. பல விண்மீன்களில் ஒன்றான நமது சூரியன், 250 km/s திசைவேகத்தில் சுமார் 220 மில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு ஒருமுறை பால்வழித் திரளின் மையத்தைச் சுற்றிவருகிறது.

(v) நிறை

பால்வழி விண்மீன் திரளின் நிறை சுமார் 3×10^{41} kg எனக் கணக்கிடப் பட்டுள்ளது.

4.10.14 அண்டத்தின் தோற்றம்

அண்டத்தின் தோற்றம் பற்றி கீழ்க்காண் மூன்று கொள்கைகள் விளக்குகின்றன.

(i) பெரு வெடிப்புக் கொள்கை

பெரு வெடிப்புக் கொள்கையின்படி. அண்டத்தினுள் பருப்பொருள் அனைத்தும் அடர்த்திமிக்க வெப்பமான தீப்பந்து போன்று இருந்தது. 20 மில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு முன்னர், ஏற்பட்ட வெடிப்பின் காரணமாக பருப்பொருள் சிறு சிறு, துண்டுகளாக உடைந்து விண்மீன் திரள்களாக அனைத்துத் திசைகளிலும் வீசி எறிப்பட்டன. தொடர்ச்சியான இயக்கத்தினால் ஏராளமான விண்மீன்திரள்கள் எல்லைக்கப்பால் சென்று மறைந்து விடும். இதன் விளைவாக, ஓரலகு பருமனுக்கான விண்மீன்

திரள்களின் எண்ணிக்கை குறைந்து கொண்டே வரும். பிறகு ஒரு கட்டத்தில் அண்டத்தில் எதுவுமே இருக்காது.

(ii) துடிப்புக் கொள்கை

அண்டத்தின் மொத்த நிறையானது. ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பைவிட அதிகமாகும் போது. விண்மீன் திரள்களின் விரிவாக்கம் ஈர்ப்பின் கவர்ச்சியினால் நின்றுவிடலாம். பிறகு, அண்டம் மீண்டும் சுருங்கக்கூடும். ஒரு குறிப்பிட்ட மாறுநிலை அளவிற்கு சுருங்கியவுடன், மீண்டும் வெடிப்பு ஏற்படும். 8 பில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு ஒரு முறை விரிவும் சுருக்கமும் ஏற்படும். ஆகவே. விரிவும் சுருக்கமும் மாறிமாறி ஏற்பட்டு துடிக்கும் அண்டம் உருவாகும்.

(iii) நிலை மாறாக் கொள்கை

அண்டத்தின் ஒரு பகுதியிலிருந்து தப்பிச் செல்லும் விண்மீன் திரள்களின் இடத்தை நிரப்புவதற்காக. ஒன்றுமில்லா விண்வெளியிலிருந்து (empty space) புதிய விண்மீன்திரள்கள் தொடர்ந்து உருவாக்கப்படும். எனவே இக்கொள்கையின்படி, அண்டமானது இன்றிருப்பது போன்றே அன்றும் இருந்திருக்க வேண்டும். மேலும், அண்டத்தின் விரிவடையும் வீதம் முற்காலத்தில் இருந்தது போன்றே எதிர்காலத்திலும் மாறாமல் இருக்கும். எனவே. மாறா நிலை அடைந்து அண்டத்தில் இருக்கும் மொத்த விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை மாறாமல் இருக்கும்.

தீர்க்கப்பட்ட கணக்குகள்

4.1 புவிப்பரப்பில் உள்ள ஒவ்வொன்றும் 200 **kg** நிறையுடைய இரு பொருள்களுக்கிடையே **2 m** தொலைவு இருக்கும்போது, அவற்றிற்கிடையேயான ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசையைக் கணக்கிடுக. அவ்விரண்டு பொருள்களும், தொலைவு மாறாமல் நிலவின் பரப்பில் இருந்தால் விசை மாறுபடுமா என்பதைக் கூறுக.

தகவல் : $m_1 = m_2 = 200$ kg ; $r = 2$ m ; $G = 6.67 \times 10^{11}$ N m^2 kg^{-2}; $F = ?$

தீர்வு : $F = \frac{G m_1 m_2}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 200 \times 200}{(2)^2}$

கவர்ச்சி விசை $F = 6.67 \times 10^{-7}$ N

Gஎன்பது பொது மாறிலி என்பதாலும், நிறைகள் மாறாது என்பதாலும், நிலவுப் பரப்பில் கவர்ச்சி விசை மாறுபடாது.

4.2 நிலவின் பரப்பில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் **1.67 m s^{-2}**, நிலவின் ஆரம் **1.74 × 10^6 m** எனில். அதன் நிறையைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $g = 1.67$ m s^{-2} ; $R = 1.74 \times 10^6$ m ; $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}; $M = ?$

தீர்வு : $M = \frac{gR^2}{G} = \frac{1.67 \times (1.74 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}}$

$M = 7.58 \times 10^{22}$ kg

4.3 புவிப்பரப்பின் மீது ஏற்படும் ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தில், பாதியாக இருக்கும் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் புவிப்பரப்பிற்கு மேலே எந்த உயரத்தில் இருக்கும்? (புவியின் ஆரம் 6400 km)

தகவல் : $h = ?$; $g_h = \frac{g}{2}$; $R = 6400 \times 10^3$ m

தீர்வு :

$$\frac{g_h}{g} = \frac{R^2}{(R+h)^2} = \left(\frac{R}{R+h}\right)^2$$

$$\frac{g}{2g} = \left(\frac{R}{R+h}\right)^2$$

$$\frac{R}{R+h} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$h = (\sqrt{2} - 1)\, R = (1.414 - 1)\, 6400 \times 10^3$$

$$h = 2649.6 \times 10^3 \text{ m}$$

4.4 *நிலவின் மீதுள்ள பொருளின் விடுபடு வேகத்தைக் கணக்கிடுக (நிலவின் ஆரம் 1.74×10^6 m நிலவின் நிறை 7.36×10^{22} kg).*

தகவல் : $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N\ m^2\ kg^{-2}$; $R = 1.74 \times 10^6\ m$;
$M = 7.36 \times 10^{22}\ kg$; $v_e = ?$

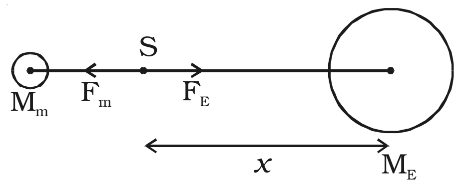
தீர்வு :

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 7.36 \times 10^{22}}{1.74 \times 10^6}}$$

$$v_e = 2.375\ km\ s^{-1}$$

4.5 *புவியின் நிறை நிலவின் நிறையைப் போல் 81 மடங்கு மற்றும் புவியின் மையத்திலிருந்து நிலவின் மையம் உள்ள தொலைவு 4×10^5 km. புவியிலிருந்து நிலவிற்கு விண்வெளிக் கப்பலை அனுப்பும்போது புவியின் மையத்திலிருந்து, தொகுபயன் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசை சுழியாகும் தொலைவினைக் கணக்கிடுக.*

தீர்வு :



விண்வெளிக் கப்பலின் நிறை m என்க. S–ல் விண்வெளிக் கப்பலின் மீது செயல்படும் புவியின் காரணமான ஈர்ப்பியல் விசை, நிலவின் காரணமான ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக இருக்கும். S என்ற விண்வெளிக் கப்பல் புவியின் மையத்திலிருந்து x தொலைவிலும் நிலவின் மையத்திலிருந்து $(4 \times 10^5 - x)$ தொலைவில் இருக்கட்டும்.

$$\therefore \quad \frac{GM_E m}{x^2} = \frac{GM_m m}{(4 \times 10^5 - x)^2}$$

$$\frac{M_E}{M_m} = 81 = \frac{x^2}{(4 \times 10^5 - x)^2}$$

$$\therefore \quad x = 3.6 \times 10^5\ km.$$

புவியின் மையத்திலிருந்து 3.6×10^5 km தொலைவில் தொகுபயன் ஈர்ப்பு விசை சுழியாகும். 3.6×10^5 km தொலைவு செல்லும் வரை தொகுபயன் விசையானது புவியை நோக்கியும், பிறகு நிலவை நோக்கியும் செயல்படும்.

4.6 *12 kg நிறையுடைய கல் ஒன்று புவிப்பரப்பின் மீது விழுகிறது. புவியின் நிறை 6×10^{24} kg மற்றும் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் $9.8\ m\ s^{-2}$ எனில் புவியின் மீது கல் ஏற்படுத்தும் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.*

தகவல் : $m = 12\ kg;\ M = 6 \times 10^{24}\ kg;\ g = a_s = 9.8\ m\ s^{-2};\ a_E = ?$

தீர்வு : *கல்லிற்கும் புவிக்கும் இடையிலான ஈர்ப்பு விசை* F *என்க.*

கல்லின் முடுக்கம் $(g) = a_S = F/m$

புவியின் முடுக்கம் $a_E = F/M$

$$\frac{a_E}{a_S} = \frac{m}{M} = \frac{12}{6 \times 10^{24}} = 2 \times 10^{-24}$$

$$a_E = 2 \times 10^{-24} \times 9.8$$

$$a_E = 19.6 \times 10^{-24}\ m\ s^{-2}$$

4.7 *புவிப்பரப்பில் விண்வெளி வீரர் ஒருவரால்* $0.75\ m$ *பெரும உயரத்திற்குக் குதிக்க முடிகிறது. அதே முயற்சியுடன் நிலவுப் பரப்பில், அவரால் எந்த உயரத்திற்குக் குதிக்க முடியும்? (நிலவின் அடர்த்தி புவியின் அடர்த்தியைப் போல் (2/3) மடங்கு மற்றும் நிலவின் ஆரம் புவியின் ஆரத்தைப் போல் 1/4 மடங்கு)*

தகவல் : $\rho_m = \frac{2}{3}\ \rho_E;\ R_m = \frac{1}{4} R_E;$ $\qquad h_E = 0.75\ m\ ;\ h_m = ?$

தீர்வு : m *நிறையுடைய விண்வெளி வீரர் புவியின் மீது* h_E *உயரத்திற்கும் நிலவின் மீது* h_m *உயரத்திற்கும் குதிக்கிறார். நிலவிலும் புவியிலும் சமஅளவு இயக்க ஆற்றலைக் கொடுப்பதால்* h_E *மற்றும்* h_m *உயரங்களில் நிலையாற்றல்கள் சமமாக இருக்கும்.*

$\therefore \qquad mgh =$ *மாறிலி*

$$mg_m\ h_m = mg_E\ h_E$$

$$\frac{h_m}{h_E} = \frac{g_E}{g_m} \qquad ...(1)$$

புவிக்கு, $g_E = \dfrac{GM_E}{{R_E}^2} = \dfrac{4}{3} \pi\ G\ R_E\, \rho_E$

நிலவுக்கு, $g_m = \dfrac{GM_m}{{R_m}^2} = \dfrac{4}{3}\ \pi\ G\ R_m\, \rho_m$

$$\therefore\ \frac{g_E}{g_m} = \frac{R_E}{R_m} \cdot \frac{\rho_E}{\rho_m} \qquad ...(2)$$

(1) மற்றும் (2)-ஐ சமன்படுத்துக.

$$h_m = \frac{R_E}{R_m}\frac{\rho_E}{\rho_m} \times h_E$$

$$h_m = \frac{R_E}{\frac{1}{4}R_E} \times \frac{\rho_E}{\frac{2}{3}\rho_E} \times 0.75$$

$$h_m = 4.5 \ m$$

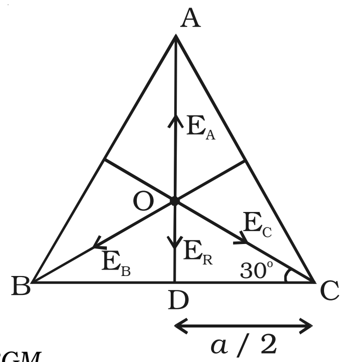
4.8 *பக்கம் a உடைய சமபக்க முக்கோணத்தின் மூன்று கோணமுனைகளில் (vertices), ஒவ்வொன்றும் m நிறையுடைய மூன்று புள்ளி நிறைகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. மூன்று நிறைகளினால் முக்கோணத்தின் மையத்தில் ஏற்படும் ஈர்ப்புப் புலத்தையும் ஈர்ப்பு அழுத்தத்தையும் கணக்கிடுக.*

தீர்வு : *மையம் O-விலிருந்து ஒவ்வொரு நிறையின் தொலைவு OA = OB = OC*

Δ *ODC-ல்,* $\cos 30^o = \dfrac{a/2}{OC}$

$\therefore \quad OC = \dfrac{a/2}{\cos 30^o} = a/\sqrt{3}$

இதுபோன்று $OB = a/\sqrt{3}$ *and* $OA = a/\sqrt{3}$



(i) *ஈர்ப்புப் புலம்* $E = \dfrac{GM}{r^2}$

$\therefore$ *A-யினால் O-யில் ஈர்ப்புப் புலம்,* $E_A = \dfrac{3GM}{a^2}$ *(A-வை நோக்கி)*

B-யினால் O-யில் ஈர்ப்புப் புலம், $E_B = \dfrac{3GM}{a^2}$ *(B-யை நோக்கி)*

C-யினால் O-யில் ஈர்ப்புப் புலம், $E_C = \dfrac{3GM}{a^2}$ *(C-யை நோக்கி)*

E_B *மற்றும்* E_C *காரணமாக, தொகுபயன் புலம்*

$E_R = \sqrt{E_B^{\,2} + E_C^{\,2} + 2E_BE_C \cos 120^o}$

$E_R = \sqrt{E_B^{\,2} + E_B^{\,2} \;\; E_B^{\,2}} = E_B$ $\qquad [\because E_B = E_C]$

தொகுபயன் புலம் $E_R = \dfrac{3GM}{a^2}$ *(OD வழியாக செயல்படும்)*

OA வழியாகச் செயல்படும் E_A-வும் OD வழியாகச் செயல்படும் E_R-ம் சமமாகவும் எதிரெதிராகவும் உள்ளன. எனவே, மையத்தில் ஈர்ப்பு புலம் சுழி.

(ii) ஈர்ப்பு அழுத்தம் $v = -\dfrac{GM}{r}$

O–யில் தொகுபயன் ஈர்ப்பு அழுத்தம்

$$v = -\frac{GM}{a/\sqrt{3}} - \frac{GM}{a/\sqrt{3}} - \frac{GM}{a/\sqrt{3}} = -\sqrt{3}\left(\frac{GM}{a} + \frac{GM}{a} + \frac{GM}{a}\right)$$

$$v = -3\sqrt{3}\ \frac{GM}{a}$$

4.9 புவிப்பரப்பிற்கு மேல் 6R உயரத்தில் புவிநிலைத் துணைக்கோள் ஒன்று புவியைச் சுற்றிவருகிறது. புவிப்பரப்பிற்கு மேல் 2.5R உயரத்தில் சுற்றி வரும் மற்றொரு துணைக்கோளின் சுற்றுக் காலத்தைக் கணக்கிடுக (R என்பது புவியின் ஆரம்).

தகவல் : புவிப்பரப்பிலிருந்து, புவி–நிலைத் துணைக் கோளின் உயரம், $h = 6R$

புவிப்பரப்பிலிருந்து, மற்றொரு துணைக் கோளின் உயரம், $h = 2.5R$

தீர்வு : துணைக்கோளின் சுற்றுக் காலம்

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}}$$

$$\therefore \quad T\ \alpha\ \sqrt{(R+h)^3}$$

புவி-நிலைத் துணைக் கோளிற்கு, $T_1\ \alpha\ \sqrt{(R+6R)^3}$

$$T_1\ \alpha\ \sqrt{(7R)^3} \qquad \ldots (1)$$

மற்றொரு துணைக் கோளிற்கு, $T_2\ \alpha\ \sqrt{(R+2.5R)^3}$

$$T_2\ \alpha\ \sqrt{(3.5R)^3} \qquad \ldots (2)$$

(2)-ஐ (1)-ஆல் வகுக்க.

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{(3.5R)^3}{(7R)^3}} = \frac{1}{2\sqrt{2}}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{2\sqrt{2}} = \frac{24}{2\sqrt{2}}$$

($\because$ புவி-நிலைத் துணைக்கோளின் சுற்றுக் காலம் 24 மணி)

T_2 = 8 மணி 29 நிமிடங்கள்

தன் மதிப்பீடு

(இந்தத் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள வினாக்களும் கணக்குகளும் மாதிரிகளே. இவற்றைப்போன்று, பாடப் பொருளிலிருந்து எந்தவொரு வினாவையும் அல்லது கணக்கினையும் வடிவமைக்கலாம். மாணவ, மாணவியர் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியிலிருந்து மட்டுமல்லாமல், பாடப் பொருளிலிருந்தும் வடிவமைக்கப்படக்கூடிய வினாக்களுக்கும் கணக்குகளுக்கும் விடையளிக்க ஆயத்தம் செய்து கொள்ள வேண்டும்.)

4.1 இரு நிறைகளுக்கிடையேயான தொலைவு இருமடங்காக்கப்படின், அவற்றின் ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி

(a) பாதியாகக் குறையும் (b) கால்பகுதியாகக் குறையும்

(c) இருமடங்காகும் (d) நான்கு மடங்காகும்

4.2 புவிப்பரப்பிற்கு மேலே, புவியின் ஆரத்தைப்போல் (1/20) மடங்கு உள்ள உயரத்தில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் 9 m s^{-2}. இதே தொலைவில் புவிக்குக் கீழே (ஆழத்தில்) ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம்

(a) 0 (b) 9 m s^{-2}

(c) 9.8 m s^{-2} (d) 9.5 m s^{-2}

4.3 புவிப்பரப்பில் பொருளொன்றின் எடை W. புவிப்பரப்பிலிருந்து புவிமையம் நோக்கிச் செல்லும்போது பாதி தொலைவில் அப்பொருளின் எடை

(a) W (b) W/2

(c) W/4 (d) W/8

4.4 குறுக்குக்கோடுப் பகுதியில், ஈர்ப்பின் விசை சிறுமமாகக் கூடிய கோணம்

(a) 0^o (b) 45^o

(c) 60^o (d) 90^o

4.5 புவி, சுழல்வது நின்றுவிட்டால், நடுக்கோட்டுப் பகுதியில் g-ன் மதிப்பு

(a) அதிகமாகும் (b) குறையும்

(c) மாறாமலிருக்கும் (d) சுழியாகிவிடும்

4.6 புவியின் மீது விடுபடு வேகம் 11.2 km s^{-1}. புவியின் நிறையைப் போல் 8 மடங்கும் புவியின் ஆரத்தைப் போல் 2 மடங்கும் உள்ள கோள் ஒன்றில் விடுபடு வேகம்

(a) 11.2 km s^{-1} (b) 5.6 km s^{-1}

(c) 22.4 km s^{-1} (d) 44.8 km s^{-1}

4.7 M நிறையுடைய கோளினை r ஆரமுள்ள சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிவரும் துணைக்கோளின் நிறை m எனில், அதன் திசைவேகம்

(a) $v^2 = \frac{GM}{r}$ (b) $v = \frac{GM}{r}$

(c) $v^2 = \frac{GMm}{r}$ (d) $v = \frac{Gm}{r}$

4.8 புவியானது, சூரியனிடமிருந்து தற்போது உள்ள தொலைவில் நான்கில் ஒரு பங்கு தொலைவில் இருக்கும்போது, ஓர் ஆண்டின் காலம்

(a) தற்போதைய ஆண்டில் நான்கில் ஒரு பங்கு ஆகும்

(b) தற்போதைய ஆண்டில் பாதியாகும்

(c) தற்போதைய ஆண்டில் எட்டில் ஒரு பங்கு ஆகும்

(d) தற்போதைய ஆண்டில் ஆறில் ஒரு பங்கு ஆகும்

4.9 சூரியக் குடும்பத்தைச் சாராத பொருள் எது?

(a) வால்மீன்கள் (Comets) (b) நெபுலா (Nebulae)

(c) சிறுகோள்கள் (Asteroids) (d) கோள்கள் (Planets)

4.10 கெப்ளரின் விதிப்படி, ஆரவெக்டர் சமகாலங்களில் சம பரப்புகளை ஏற்படுத்தும். எந்த அழிவின்மையின் விளைவாக இவ்விதி உள்ளது?

(a) கோண உந்தம் (b) நேர்க்கோட்டு உந்தம்

(c) ஆற்றல் (d) மேற்கண்ட அனைத்தும்

4.11 சாதாரணமாக, நாம் பயன்படுத்தும் இரு பொருள்களுக்கிடையே ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசையை உணர முடிவதில்லை. ஏன்?

4.12 பொது ஈர்ப்பியல் விதியைக் கூறுக.

4.13 ஈர்ப்பியல் மாறிலியை வரையறுத்து, அதன் அலகினையும் பரிமாண வாய்ப்பாட்டையும் கூறுக.

4.14 ஈர்ப்பின் முடுக்கம் (i) குத்துயரத்தையும் (ii) ஆழத்தையும் சார்ந்து மாறுபடும். மெய்ப்பிக்கவும்.

4.15 புவியின் சுழற்சி காரணமாக, குறுக்குக் கோடுகளைப் பொருத்து g மாறுபடுவதை விளக்குக.

4.16 ஈர்ப்பின் முடுக்கம் நிலநடுக்கோட்டுப் பகுதியில் சிறுமம் மற்றும் துருவங்களில் பெருமம் என உள்ளது. காரணம் கூறுக.

4.17 g- மதிப்பினைப் பாதிக்கும் காரணிகள் யாவை?

4.18 ஒருவர் புவிப்பரப்பில் குதிப்பதை விட நிலவுப் பரப்பில் அதிக உயரம் குதிக்க முடியும். ஏன்?

4.19 ஈர்ப்புப் புலச் செறிவினை வரையறு.

4.20 ஈர்ப்பு அழுத்தத்தை வரையறு.

4.21 ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றலை வரையறு. புவியின் ஈர்ப்புப் புலத்தில் உள்ள நிறையின் ஈர்ப்பு அழுத்த ஆற்றலுக்கான கோவையை வருவி.

4.22 ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தத்திற்கான கோவையைப் பெறுக.

4.23 நிலைம நிறையையும் ஈர்ப்பியல் நிறையையும் வேறுபடுத்துக.

4.24 நிலவில் வளிமண்டலம் இல்லை. ஏன்?

4.25 விடுபடுவேகம் என்பது என்ன? அதன் சமன்பாட்டினைப் பெறுக.

4.26 சுற்றியக்கத் திசைவேகம் என்பது என்ன? அதன் சமன்பாட்டினைப் பெறுக.

4.27 சுற்றிவரும் துணைக்கோளின் திசைவேகம் மாறினால் நிகழ்வது யாது?

4.28 புவி-நிலைத் துணைக்கோள்கள் என்பவை யாவை?

4.29 புவி நிலைத் துணைக்கோள்கள் ஒன்றின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் 36000 km என மெய்ப்பிக்கவும்.

4.30 புவியைச் சுற்றி வரும் விண்வெளி ஓடத்தினுள் இருப்பவர்கள் எடையின்மையை உணர்வதேன்?

4.31 ஈர்ப்பியல் விதியிலிருந்து சுற்றுக்காலங்களின் விதியை வருவி.

4.32 கோண உந்த அழிவின்மையின் அடிப்படையில் பரப்புகளின் விதியைக் கூறி, மெய்ப்பிக்கவும்.

4.33 கதிரவ–மையக் கொள்கையைக் கூறுக.

4.34 புவி–மையக் கொள்கையைக் கூறுக.

4.35 சூரியக் குடும்பம் என்பது யாது?

4.36 கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய கெப்ளரின் விதிகளைக் கூறுக.

4.37 எதிரொளிப்புத் திறன் என்றால் என்ன?

4.38 சிறுகோள்கள் என்பவை யாவை?

4.39 வடிவ விண்மீன் குழுக்கள் என்பவை யாவை?

4.40 பால்வழி விண்மீன் திரளைப் பற்றிக் குறிப்பெழுதுக.

கணக்குகள்

4.41 10 kg மற்றும் 20 kg நிறைகளுடைய இரு கோளங்கள் 5 m இடைவெளியில் உள்ளன. நிறைகளுக்கிடையேயான ஈர்ப்பியல் கவர்ச்சி விசையைக் கணக்கிடுக.

4.42 புவியின் ஆரத்தில் (1/4) பங்கும், புவியின் நிறையில் 1/80 பங்கும் உடைய நிலவின் பரப்பில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் யாது? (9.8 m s^{-2})

4.43 நிலவின் பரப்பில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் 1.67 m s^{-2} புவியின் நிறை நிலவின் நிறையைப் போல் 81 மடங்கு எனில், புவியின் ஆரத்திற்கும் நிலவின் ஆரத்திற்கும் உள்ள தகவு என்ன?

4.44 புவியின் நிறை மாறாமல், விட்டம் மட்டும் தற்போதைய மதிப்பைப்போல் இரு மடங்கானால், புவிப்பரப்பின் மீதுள்ள பொருளொன்றின் எடை எவ்வாறு பாதிக்கப்படும்?

4.45 புவிப்பரப்பின்மீது பொருளொன்றின் எடை 250 N. புவிப்பரப்பிலிருந்து மையம் நோக்கி நான்கில் ஒரு பங்கு ஆழத்தில் அப்பொருளின் எடை என்ன? (புவியை சீரான அடர்த்தி உடைய கோளமாகக் கருதவும்)

4.46 புவியின் ஆரம் 6400 km எனில், 500 km குத்துயரத்தில் ஈர்ப்பின் முடுக்கம் என்ன?

4.47 புவியின் மையத்திலிருந்து, அதன் விட்டத்திற்குச் சமமான தொலைவில் ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

4.48 புவியின் நடுக்கோட்டுப் பகுதியில் உள்ள பொருள்கள் எடையின்மை போன்று தோன்ற புவியின் கோணத் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக. இந்தக் கோணத் திசைவேகமானது தற்போதைய கோணத் திசைவேகத்தைப் போன்று எத்தனை மடங்கு வேகம்? ($g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$; $R = 6400$ km)

4.49 புவியின் ஈர்ப்பிலிருந்து விடுபட்டு தப்பிச் செல்ல, புவிப்பரப்பில் செங்குத்தாக எறியப்படும் பொருளிற்குக் கொடுக்கப்பட வேண்டிய வேகத்தைக் கணக்கிடுக. ($R = 6.4 \times 10^3$ kg ; $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$)

4.50 வியாழன் கோளின் நிறை, புவியின் நிறையைப் போல் 318 மடங்கு மற்றும் அதன் ஆரம் புவியின் ஆரத்தைப்போல் 11.2 மடங்கு எனில், வியாழனின் பரப்பில் பொருளொன்றின் விடுபடு வேகத்தைக் கணக்கிடுக. (புவியில் விடுபடு வேகம் 11.2 km/s).

4.51 புவிப்பரப்பிலிருந்து 1000 km உயரத்தில் துணைக்கோள் ஒன்று வட்டமான சுற்றுப்பாதையில் புவியைச் சுற்றுகிறது. சுற்றியக்கத் திசைவேகத்தையும் சுற்றுக்காலத்தையும் கணக்கிடுக. புவியின் ஆரம் 6400 km மற்றும் நிறை 6×10^{24} kg.

4.52 செயற்கைத் துணைக்கோள் ஒன்று 3400 km உயரத்தில் புவியைச் சுற்றி வருகிறது. அதன் சுற்றியக்கத் திசைவேகத்தையும் சுற்றுக்காலத்தையும் கணக்கிடுக. புவியின் ஆரம் = 6400 km ; $g = 9.8\ m\ s^{-2}$.

4.53 600 kg நிறையுடைய துணைக்கோள் ஒன்று புவிப்பரப்பிலிருந்து 500 km உயரத்தில், புவியைச் சுற்றுகிறது. அதன் **(i)** இயக்க ஆற்றல் **(ii)** நிலை ஆற்றல் மற்றும் **(iii)** மொத்த ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.
$(M = 6 \times 10^{24}\ kg\ ;\ R = 6.4 \times 10^{6}\ m)$

4.54 $6300\ kg\ m^{-3}$ அடர்த்தி உடைய கோள் ஒன்றின் பரப்பிற்கு அருகில், துணைக்கோள் ஒன்று அக்கோளினைச் சுற்றி வருகிறது. துணைக்கோளின் சுற்றுக் காலத்தைக் கணக்கிடுக. கோளின் ஆரம் 6400 km எனக் கருதுக.

4.55 புவிப்பரப்பிற்கு அருகில், விண்வெளிக் கப்பல் ஒன்று புவியை வட்டப்பாதையில் சுற்றி வருமாறு செலுத்தப்படுகிறது. ஈர்ப்பியல் விசையினின்று விடுபட, அந்த விண்வெளிக் கப்பலுக்கு, அச்சுற்றுப்பாதையில் கொடுக்கப்பட வேண்டிய கூடுதல் திசைவேகம் என்ன? ($R = 6400\ km;\ g = 9.8\ m\ s^{-2}$).

விடைகள்

4.1 (b) **4.2** (d) **4.3** (b) **4.4** (a)

4.5 (a) **4.6** (c) **4.7** (a) **4.8** (c)

4.9 (b) **4.10** (a)

4.41 $53.36 \times 10^{-11}\ N$ **4.42** $1.96\ m\ s^{-2}$

4.43 3.71 **4.44** W/4

4.45 187.5 N **4.46** $8.27\ m\ s^{-2}$

4.47 $2.45\ m\ s^{-2}$ **4.48** $1.25 \times 10^{-3}\ rad\ s^{-1}$; 17

4.49 $11.2\ km\ s^{-1}$ **4.50** $59.67\ km\ s^{-1}$;

4.51 $7.35\ km\ s^{-1}$; 1 மணி 45 நிமிடங்கள் 19 நொடிகள்

4.52 $6.4\ km\ s^{-1}$; 9614 நொடிகள்

4.53 $1.74 \times 10^{10}\ J; -3.48 \times 10^{10}\ J; -1.74 \times 10^{10}\ J$

4.54 4734 நொடிகள் **4.55** $3.28\ km\ s^{-1}$

5. திட , பாய்மப் பொருள்களின் இயந்திரவியல்

குறிப்பிட்ட நிறை மற்றும் பருமனை உடைய பொருள் பருப்பொருளாகும். திடம், நீர்மம் (திரவம்) மற்றும் வளிமம் (வாயு) என்ற மூன்று நிலைகளில் பருப்பொருள்கள் காணப்படுகின்றன. வெறும் அயனியாக்கப்பட்ட அணுக்கருக்களால் ஆன பருப்பொருளின் நான்காம் நிலை பிளாஸ்மா **(plasma)** எனப்படும். நாம் பருப்பொருள்களின் முதல் மூன்று நிலைகளைப்பற்றி மட்டும் இங்கு காண்போம். பருப்பொருளின் ஒவ்வொரு நிலைக்கும் சில தனிப்பண்புகள் உண்டு. எடுத்துக்காட்டாக, திடப்பொருளுக்கு பருமனும், வடிவமும், மீட்சிப் பண்பும் உண்டு. ஒரு வளிமமானது அதனை உள்ளடக்கிய மூடிய கொள்கலனின் பருமனைக் கொண்டிருக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் நீர்மம் (திரவம்) நிலையான பருமனைப் பெற்றிருக்கும். ஆனால், அதற்கு வடிவம் இல்லை. இந்த மாறுபட்ட பண்புகளுக்கான காரணிகள் **(i)** அணுவிடை அல்லது மூலக்கூறிடை விசை மற்றும் **(ii)** வெப்பத்தினால் நிகழும் மூலக்கூறுகளின் சீரற்ற இயக்கம் அல்லது கிளர்ந்தெழுதல் போன்றவையாகும்.

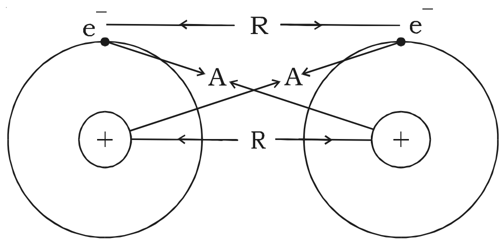
திடப்பொருளில், அணுக்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகள் அவற்றின் மைய நிலையை அடிப்படையாகக் கொண்டு தடையின்றி அதிர்வடைகின்றன. இவ்வதிர்வுகள் போதுமான அளவு அதிகரித்தால் மூலக்கூறுகள் அனைத்துத் திசைகளிலும் அதிர்வடையத் தொடங்குகின்றன. இந்நிலையில், பொருளின் வடிவம் குலைந்து கொள்கலனின் வடிவமைப்பைப் பெறுகிறது. இதுவே நீர்ம (திரவ) நிலையாகும். ஆற்றல் அதிகரிப்பதன் காரணமாக மூலக்கூறுகள் அதிக அளவில் அதிர்வடைந்தால், அவைகள் ஒன்றை விட்டு மற்றொன்று விலகிச்சென்று வளிம (வாயு) நிலையை அடையும். இந்நிலைமாற்றத்திற்கு நீர் ஒரு சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும். நீரின் திட நிலை பனிக்கட்டி **(ice)** ஆகும். வெப்பநிலை அதிகரிப்பதனால் மூலக்கூறுகளின் அதிர்வு அதிகரிக்கும்போது பனிக்கட்டி உருகி நீராக மாறுகிறது. நீரின் வெப்பநிலை அதிகரிக்கப்பட்டால், தொடர்ந்து அதிர்ந்து கொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகள் விலகிச்சென்று நீராவி உருவாகிறது. வெப்பநிலை மேலும் அதிகரிக்கப்பட்டால் மூலக்கூறுகள் அணுக்களாகப் பிரிந்துவிடுகின்றன.

5.1 மூலக்கூறிடை அல்லது அணுவிடை விசைகள்

இரண்டு தனித்த ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கி வருவதாகக் கொள்வோம் (படம் 5.1).

அவ்வாறு ஒன்றையொன்று நெருங்கி வரும்போது கீழ்க்காணும் இடைவினைகள் **(interactions)** ஏற்படுகின்றன.

(i) ஒரு அணுவின் கருவிற்கும் மற்றொன்றின் எலக்ட்ரானுக்கும் இடையே செயற்படும் A என்ற கவர்ச்சிவிசை. இக்கவர்ச்சி விசை யானது அணுத்தொகுதியின் நிலை ஆற்றலை குறைக்கவல்லது ஆகும்.

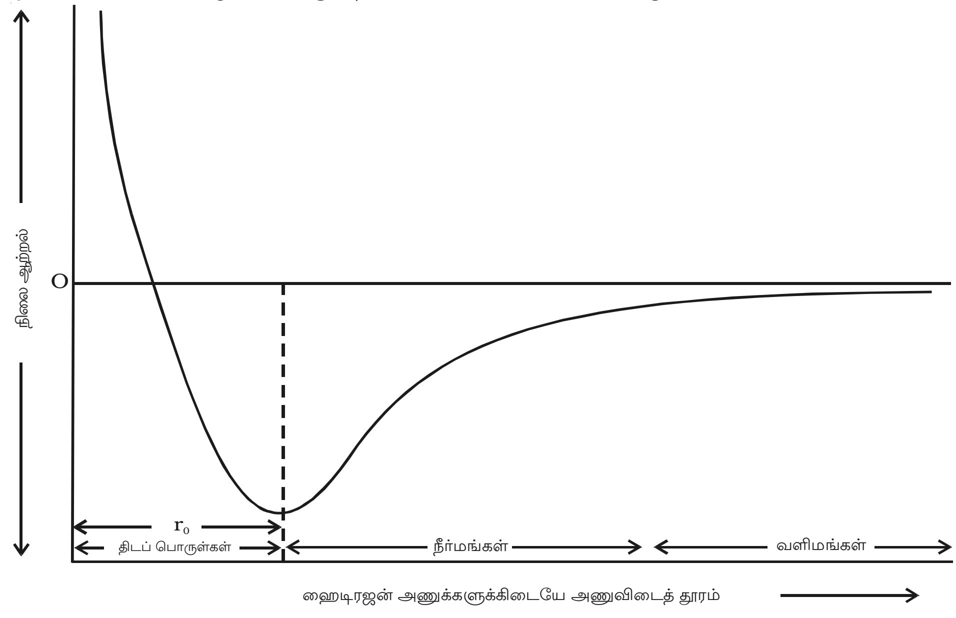


படம் 5.1 **அணுவிடை விசைகளின் மின்மூலம்**

(ii) ஒரு அணுவின் கருவிற்கும் மற்றொரு அணுவின் கருவிற்கு இடையிலும் மேலும், ஒரு அணுவின் எலக்ட்ரானுக்கும் மற்றொன்றின் எலக்ட்ரானுக்கு இடையிலும் ஏற்படும் R என்ற விலக்கு விசை **(repulsive force).** இந்த விலக்கு விசைகள் எப்பொழுதும் அணுத்தொகுதியின் ஆற்றலை அதிகரிக்க முயல்கின்றன.

அனைத்து அமைப்புகளுக்கும் தன் நிலையாற்றலின் மதிப்பை சிறுமத்திற்கு குறைத்துக் கொள்ள முயலும் பொதுவான பண்பு உண்டு. இச்சிறும நியைாற்றல், அமைப்பின் பெரும நிலைத்தன்மைக்கு **(maximum stability)** உரியதாகும்.

கவர்ச்சி மற்றும் விலக்கு விசைகளின் நிகர விளைவு, தொகுதி ஒன்றின் நிலை ஆற்றலை குறைக்குமேயானால், இரண்டு அணுக்களும் நெருங்கி வந்து தங்களுடைய எலக்ட்ரான்களைப் பகிர்ந்து கொண்டு சக பிணைப்பை உருவாக்கும். மாறாக, விலக்கு விசை அதிகமாக இருந்து தொகுதியின் ஆற்றல் அதிகரிக்குமேயானால், அணுக்கள் ஒன்றை மற்றொன்று விலக்குவதனால் பிணைப்பு ஏற்படாது.



படம் 5.2 **அணுவிடைத் தூரத்தைப் பொருத்து நிலை ஆற்றலின் மாறுபாடு**

அணுவிடை தூரத்தைப் பொருத்து நிலை ஆற்றலின் மாறுபாட்டை படம் 5.2 காண்பிக்கிறது. அணுக்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கி வந்தால், அதாவது, அவற்றின் அணுவிடைத்தூரம் குறைந்தால், தொகுதியின் நிலையாற்றல் குறைவதை வரைபடத்திலிருந்து அறியலாம். இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் போதுமான அளவு நெருங்கி வந்தால், அவைகளுக்கிடையே எலக்ட்ரான் பங்கீடு நடைபெற்று, நிலைஆற்றல் சிறுமமாக இருக்கும். இதன் காரணமாக சக பிணைப்பு ஏற்படுகிறது. மேலும், அணுவிடைத்தூரம் r_o என இருக்கிறது.

திடப்பொருள்களில் அணுவிடைத் தூரம் r_o என்க. திரவங்களில் அது r_o –ஐ விட அதிகம். வளிமங்களில் அது r_o –ஐ விட மிகமிக அதிகம்.

நிலைமின்னூட்டவியல் இடைவினைகளின் காரணமாக அணுக்களின் மின்னூட்டங்களுக்கிடையே செயற்படும் விசை அணுவிடை விசை எனப்படும். ஆகவே அணுவிடை விசைகள் இயற்கையில் மின் தன்மை உடையன. அணுக்களுக்கிடையேயான தூரம் $\approx 10^{-10}\ m$ என்ற அளவில் இருந்தால் அணுவிடை விசைகள் செயற்படும். மூலக்கூறுகளுக்கிடையே $10^{-9}\ m$ என்ற அளவில் இவ்விசையின் வீச்சு இருக்கிறது.

5.2 மீட்சிப் பண்பு

நிலையான பொருளின் மீது புறவிசை (external force) ஒன்றைச் செயற்படுத்தினால், துகள்களின் இடையே சார்பு இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படும். மீட்சிப் பண்பின் காரணமாக துகள்கள் அவற்றின் தொடக்கநிலையை அடைய முற்படுகின்றன. புறவிசையானது பொருளின் நீளம், பருமன் மற்றும் வடிவத்தில் மாற்றத்தை ஏற்படுத்தலாம். இம்மாற்றங்களை ஏற்படுத்தக்கூடிய புறவிசை உருக்குலைவிக்கும் விசை (deforming forces) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இதுபோன்ற ஒரு விசையை உணரும் பொருள் உருக்குலைந்த பொருள் (deformed body) எனப்படும். உருக்குலைவிக்கும் விசைகள் நீக்கப்பட்டால், பொருளானது தனது தொடக்க நிலையை அடைவதற்கு அப்பொருளில் தோன்றும் விசை காரணமாகிறது. இந்த விசை மீள் விசை (restoring force) என்று அழைக்கப்படுகிறது. தன்மீது செயல்படுத்தப்பட்ட உருக்குலைவிக்கும் விசைகள் நீக்கப்பட்டவுடன் தனது தொடக்க நிலையை மீண்டும் பெறும் பொருளின் தன்மை பொருளின் மீட்சிப்பண்பு எனப்படுகிறது. இப்பண்பைப் பெற்றிருக்கும் பொருள்கள் மீட்சித் தன்மையுள்ள பொருள்கள் (elastic bodies) எனப்படுகின்றன. மீட்சிப்பண்பு இல்லாத பொருள்கள் பிளாஸ்டிக் (plastic) எனப்படும். குறிப்பிட்ட தேவைகளுக்காக சரியான பொருள்களைத் தேர்ந்தெடுக்கப் பொருள்களின் இயந்திரவியல் பண்புகளின் அறிவு நமக்கு உதவுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, எஃகு அதிக மீட்சித்தன்மை உடையதால், சுருள்வில்கள் எஃகினால் செய்யப்படுகின்றன.

தகைவு மற்றும் திரிபு (stress and strain)

உருக்குலைந்த பொருளைத் தொடக்க நிலைக்குக் கொண்டு வர, அப்பொருளினுள் மீள் விசை உருவாகிறது. இந்த மீள் விசையின் அளவு உருக்குலைவை பொருத்ததாகும். உருக்குலைந்த பொருளின் ஓரலகு பரப்பில் செயற்படும் மீள் விசை, தகைவு எனப்படும்.

$$\therefore \text{ தகைவு } = \frac{\text{மீள் விசை}}{\text{பரப்பு}}$$

இதன் அலகு $N\ m^{-2}$, இதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு $ML^{-1}T^{-2}$ஆகும்.

உருக்குலைவிக்கும் விசை செயற்படுவதால், பொருளின் நீளம், பருமன் அல்லது வடிவம் மாறுபடுகிறது. அதாவது அப்பொருள் திரிபு நிலையில் உள்ளது எனப்படும். *ஒரு பொருளில் ஏற்பட்ட பரிமாண மாற்றத்திற்கும் அதன் தொடக்க நிலைப் பரிமாணத்திற்கும் இடையேயான தகவு திரிபு எனப்படுகிறது.*

$$\therefore \text{ திரிபு } = \frac{\text{பரிமாணத்தில் மாற்றம்}}{\text{தொடக்க நிலைப் பரிமாணம்}}$$

இரு ஒத்த அளவுகளின் தகவாயிருப்பதனால், திரிபுக்கு அலகு கிடையாது.

மீட்சி எல்லை

மீட்சித் தன்மையுள்ள ஒரு பொருள், ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்கு அதிகமாக நீட்டப்பட்டாலோ அல்லது இறுக்கப்பட்டாலோ, அது தன் தொடக்க நிலையை அடையாது, நிரந்தரமாக உருக்குலைந்திருக்கும். நிரந்தர உருக்குலைவு ஏற்படும் எல்லை மீட்சி எல்லை என அழைக்கப்படுகிறது.

ஹுக் விதி (Hooke's law)

1676–ஆம் ஆண்டு பிரிட்டிஷ் இயற்பியலாளர் இராபர்ட் ஹுக் (1635 – 1703) என்பவர், ஒரு கம்பியின் நீட்சிக்கும் **(extension)** அதில் ஏற்படும் மீள் விசைக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பை விளக்கினார். இத்தொடர்பின் அடிப்படையில் கூறப்பட்ட விதியை ஹுக் விதி என்கிறோம். ஹுக் விதியின்படி, *மீட்சி எல்லைக்குள் ஒரு பொருளின் திரிபானது அதை ஏற்படுத்தக்கூடிய தகைவுக்கு நேர்த்தகவில் உள்ளது.*

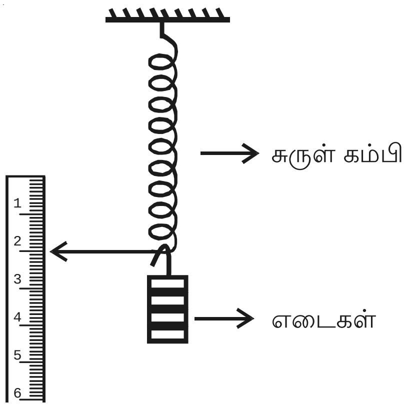
அதாவது, தகைவு α திரிபு

$$\frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}} = \text{ மாறிலி, இது மீட்சிக் குணகம் எனப்படும்.}$$

இதன் அலகு $N\ m^{-2}$ ஆகும். இதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு $ML^{-1}T^{-2}$ ஆகும்.

5.2.1 ஹூக் விதி – சோதனை மூலம் மெய்ப்பிக்கப்படுதல்

படம் 5.3-ல் காட்டியபடி சுருள் கம்பியை ஒரு தாங்கியில் தொங்க விடவேண்டும். மறுமுனையில் எடைதாங்கி பொருத்தப்பட்டு சுருள் கம்பியின் குறிகாட்டி (pointer) மில்லிமீட்டரில் குறியிடப்பட்ட அளவுகோலின் மீது தங்கு தடையின்றி நகரும்படி அமைக்கப்படுகிறது. அளவுகோலில் தொடக்க அளவீட்டைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். 'm' kg எடையை தாங்கியில் சேர்த்து குறிகாட்டியின் அளவீட்டைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். இதே முறையில் ஒவ்வொரு கூடுதல் m kg எடைக்கும் அளவீடுகள் குறிக்கப்படுகின்றன. சுருள் கம்பியின் நீட்சியானது எடைக்கு நேர்த்தகவில் இருப்பதைக் காணலாம். இவ்வாறு ஹூக் விதி மெய்ப்பிக்கப்படுகிறது.

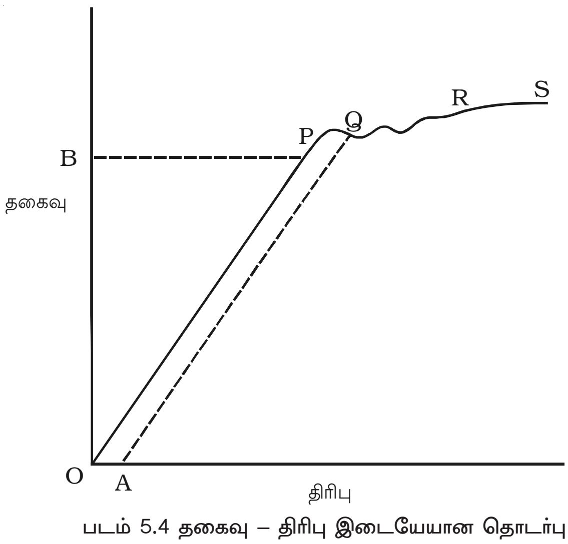


படம் 5.3 ஹூக் விதியை மெய்ப்பித்தல்

5.2.2 தகைவு – திரிபுக்கு இடையேயான தொடர்பை அறிதல்

கம்பி ஒன்று உறுதியான தாங்கியில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். வெவ்வேறு எடைகளின் போது கம்பியின் தன்மையை அறிய அதன் மறுமுனையில் ஒரு எடைதாங்கி இணைக்கப்படுகிறது. கம்பியின் நீட்சி உரிய முறையில் அளக்கப்பட்டு தகைவு – திரிபு வரைபடம் படம் 5.4–ல் காட்டியபடி வரையப்படுகிறது.

(i) படத்தில் OP எனும் பகுதியானது நேர்க்கோடாக உள்ளது. குறிப்பிட்டதொரு தகைவுக்குள், திரிபானது செயல்படுத்தப்படும். தகைவிற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். இது ஹூக் விதியாகும். புள்ளி P–யை அடையும் வரை, எடை அகற்றப்பட்டால் கம்பியானது PO வழியாக தன் தொடக்க நீளத்தை அடையும். P என்ற புள்ளி மீட்சி எல்லை எனவும், PO என்பது பொருளின் மீட்சியின் வீச்சு (elastic range) எனவும்



படம் 5.4 தகைவு – திரிபு இடையேயான தொடர்பு

மற்றும் OB மீட்சி வலிமை (elastic strength) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.

(ii) P என்ற புள்ளிக்கு அப்பால், வரைபடமானது நேர்க்கோடாக இல்லை. கம்பிப்பொருளானது PQ என்ற பகுதியில் மீட்சிப்பொருளாகவும், பிளாஸ்டிக் பொருளாகவும் உள்ளது. Q என்ற புள்ளியிலிருந்து எடையைக் குறைக்கத் தொடங்கினால், வரைபடம் P வழியாக O எனும் புள்ளியை வந்தடையாமல் QA என்ற நேர்க்கோட்டைப் பின்தொடர்கிறது. ஆகவே, கம்பியில் OA என்ற நிரந்தர திரிபு (permanent strain) ஏற்படுகிறது. இது நிரந்தரமாற்றம் (permanent set) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

(iii) Qக்கு அப்பால் எடையை சிறிதளவு அதிகரித்தாலும் அது மிக அதிகமான திரிபை ஏற்படுத்துகிறது. Q என்ற புள்ளியை விளைவுப் புள்ளி (yield point) என்றும், QR பகுதியை பிளாஸ்டிக் வீச்சு (plastic range) என்றும் கூறுகிறோம்.

(iv) R என்ற புள்ளிக்கு அப்பால், கம்பியானது உருக்குலைந்து மெல்லியதாக மாறிக் கொண்டே வந்து S என்ற புள்ளியில் முறிந்து விடுகிறது. ஆகையால் S என்பது முறிவுப்புள்ளி (breaking point) ஆகும். S–க்கான தகைவு முறிவுத் தகைவு (breaking stress) எனப்படுகிறது.

5.2.3 மூவகை மீட்சிக் குணகங்கள்

பொருளொன்றில், தகைவினால் விளைவிக்கப்படும் திரிபின் தன்மையைப் பொருத்து மூவகை மீட்சிக் குணகங்கள் உள்ளன. அவை, (i) யங் குணகம் (Young's modulus) (ii) பருமக் குணகம் (Bulk modulus) (iii) விறைப்புக் குணகம் (Rigidity modulus) ஆகும்.

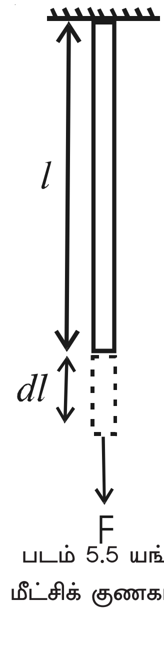
(i) யங் குணகம்

l நீளமும் A குறுக்குப் பரப்பளவும் கொண்ட கம்பி ஒன்றில், அதன் நீளத்தின் வழியே F என்ற விசை செயல்பட்டு கம்பி நீட்டப்படுவதாகக் கொள்வோம். கம்பியின் நீட்சி dl எனக் கருதுவோம்.

$$\therefore \text{நீட்சித் தகைவு} = \frac{\text{விசை}}{\text{பரப்பளவு}} = \frac{F}{A}$$

$$\text{நீட்சித் திரிபு} = \frac{\text{நீளத்தில் மாற்றம்}}{\text{தொடக்க நீளம்}} = \frac{dl}{l}$$

பொருளொன்றின் நீட்சித் தகைவுக்கும் நீட்சித் திரிபுக்கும் உள்ள தகவு யங் குணகம் என்று வரையறுக்கப்படுகிறது. அது q என்று குறிக்கப்பெறுகிறது.



படம் 5.5 யங் மீட்சிக் குணகம்

யங் குணகம் = $\frac{\text{நீட்சித் தகைவு}}{\text{நீட்சித் திரிபு}}$

அதாவது $q = \frac{F/A}{dl/l}$

அல்லது $q = \frac{F\ l}{A\ dl}$

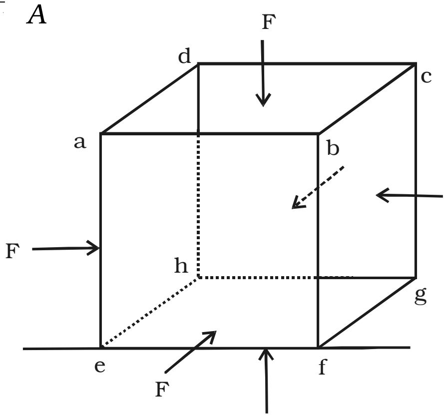
(ii) பருமக் குணகம்

படம் 5.6–ல் காட்டியபடி V பருமன் கொண்ட கனச்சதுர பொருளொன்றின் ஆறு பக்கங்களிலும் சம விசைகள் செங்குத்தாக செயல்படுவதாகக் கொள்வோம். இவ்விசைகளின் செயல்பாட்டினால் பொருளின் பருமன் dV குறைவதாகக் கருதுவோம்.

இப்பொழுது பருமத் தகைவு = $\frac{\text{விசை}}{\text{பரப்பளவு}} = \frac{F}{A}$

பருமத் திரிபு = $\frac{\text{பரும மாறுபாடு}}{\text{தொடக்க பருமன்}} = \frac{-dV}{V}$

(– குறி பருமன் குறைவதைக் காட்டுகிறது.)



படம் 5.6 பருமக் குணகம்

பொருளொன்றின் பருமத் தகைவுக்கும் பருமத்திரிபுக்கும் உள்ள தகவு பருமக் குணகம் என்று வரையறுக்கப்படுகிறது.

அது k என்று குறிக்கப்பெறுகிறது.

$\therefore$ பருமக்குணகம் = $\frac{\text{பருமத் தகைவு}}{\text{பருமத் திரிபு}}$

அதாவது $k = \frac{F/A}{-\frac{dV}{V}} = \frac{P}{-\frac{dV}{V}} \quad \left[\because P = \frac{F}{A}\right]$

அல்லது $k = \frac{-PV}{dV}$

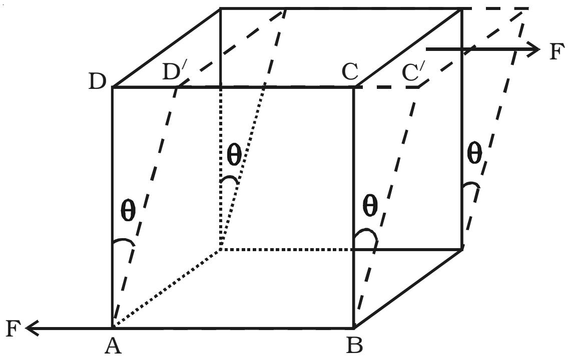
(iii) விறைப்புக் குணகம்

அடிப்பாகம் AB நிலையாகப் பொருத்தப்பட்ட திண் கனச் சதுரம் ஒன்றின்

மேற்பரப்பு மீது F என்ற தொடுவியல் விசை செயல்படுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 5.7).

இந்த தொடுவியல் விசையின் செயல்பாட்டினால், பொருளின் வடிவத்தில் மாற்றம் ஏற்பட்டாலும் அதன் பருமன் மாறாமல் இருக்கிறது. AD என்னும் பக்கம், θ கோணம் விலகி AD′ என்ற நிலையை அடைகிறது.

பொருளின் மேற் பரப்பளவு A எனில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு = F/A ஆகும்.



படம் 5.7 விறைப்புக் குணகம்

சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுக்கும், சறுக்கு பெயர்ச்சிக் கோணத்திற்கும் இடையே உள்ள தகவு விறைப்புக் குணகம் என்று வரையறுக்கப்படுகிறது. அது n என்று குறிக்கப் பெறுகிறது.

$$\text{விறைப்புக் குணகம்} = \frac{\text{சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு}}{\text{சறுக்குப் பெயர்ச்சிக் கோணம்}}$$

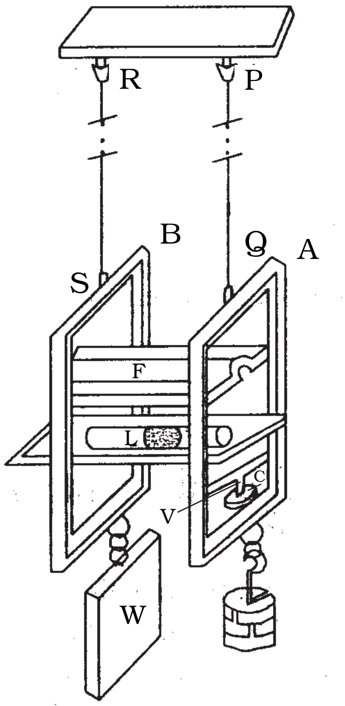
$$\text{அதாவது } n = \frac{F/A}{\theta} = \frac{F}{A\theta}$$

(அட்டவணை 5.1–ல் பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படும் சில பொருள்களின் மூவகை மீட்சிக் குணகங்களின் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன)

அட்டவணை 5.1 மீட்சிக் குணகங்களின் மதிப்பு (தேர்வுக்கு உரியதன்று)

பொருள்	மீட்சிக் குணகம் (× 10^{11} Pa)		
	q	k	n
அலுமினியம்	0.70	0.70	0.30
செம்பு	1.1	1.4	0.42
இரும்பு	1.9	1.0	0.70
எஃகு	2.0	1.6	0.84
டங்ஸ்டன்	3.6	2.0	1.5

5.2.4 சியர்ள் முறையினால் யங்குணகத்தைக் காணல்



படம் 5.8 சியர்ள் கருவி

சியர்ள் கருவியானது படம் 5.8–ல் காட்டியுள்ள வாறு A, B என்ற இரு எஃகுச் சட்டங்களைக் கொண்டுள்ளது. அவை இரண்டும் F என்ற சட்டத்தினால் கீலாணி மூலம் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றிற்கிடையே அமைக்கப்பட்ட இரசமட்டத்தின் ஒரு முனை B என்ற சட்டத்தில் கீலாணி மூலம் பொருத்தப்பட்டு, மறுமுனையானது அடுத்த சட்டத்திலமைந்த மரையொன்றின் வழியே இயங்கும் திருகு ஒன்றின் கூர்முனைமேல் உள்ளது. திருகின் அடிமுனையுடன் வட்ட அளவுக்கோல் C இணைக்கப் பட்டுள்ளது. இந்த வட்ட அளவுகோலானது மில்லிமீட்டர் அளவுகள் குறிக்கப்பெற்ற செங்குத்தான அளவுகோல் V மீது இயங்குகிறது. செங்குத்து அளவு கோலும் வட்ட அளவுகோலும் முறையே நுண்ணளவி ஒன்றின் புரிக்கோலாகவும் தலைக்கோலாகவும் செயற்படுகின்றன.

A, B என்ற சட்டங்கள் முறையே PQ, RS என்ற இரு கம்பிகளின் மூலம் உறுதியாக தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. A சட்டத்துடன் இணைக்கப்பெற்ற PQ என்ற கம்பியானது ஆய்வுக்குரிய கம்பியாகும். RS கம்பியை வளைவுகளின்றி நேராக அமைக்கும் பொருட்டு B சட்டத்தில் மாறாத எடை W தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. A என்ற சட்டத்தில் எடைகளைச் சேர்க்கக்கூடிய எடைதாங்கி ஒன்று தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது.

சோதனையின் தொடக்கத்தில் எடை தாங்கியில் 0.5 kg அளவில் மென்மேலும் எடைகளை நான்கு அல்லது ஐந்து முறை ஏற்றியும் நீக்கியும் ஆய்வுக்குரிய கம்பியானது மீட்சிப் பாங்கினைப் பெறுமாறு செய்யப்படுகிறது. அதன் பின்னர், பாழ்ச்சுமை (dead load) ஏற்றப்பட்ட நிலையில் நுண்ணளவித் திருகினைக் கவனமாகத் திருகி இரண்டு சட்டங்களும் சம நிலையில் அமையுமாறு செய்யப்படுகிறது. இது இரச மட்டத்தின் உதவியோடு செய்யப்படுகிறது. புரிக்கோல் மற்றும் தலைக்கோலின் அளவீடுகளின் மூலம் நுண்ணளவியில் அளவீடு காணப்படுகின்றது.

0.5 kg–ன் மடங்குகளாக எடை தாங்கியில் 4 kg வரை எடைகளைச் சேர்த்து ஒவ்வொரு முறையும் இரசமட்டத்தைச் சரி செய்தபின் நுண்ணளவியின் அளவு காணப்படுகின்றது. பின்னர் அதே வரிசையில் எடைகளை நீக்கி அளவீடுகள் காணப்பட்டு அவைகள் அட்டவணை 5.2–ல் காட்டியது போல் குறிக்கப்படுகின்றன. M kg எடைக்கான சராசரி நீட்சி dl கணக்கிடப்படுகின்றது.

அட்டவணை 5.2 **M kg** எடைக்கான நீட்சி

எடை தாங்கியில் எடை kg	நுண்ணளவியின் அளவீடு			M kg எடைக்கான நீட்சி
	எடை ஏற்றும் போது	எடை நீக்கும் போது	சராசரி	
W				
W + 0.5				
W + 1.0				
W + 1.5				
W + 2.0				
W + 2.5				
W + 3.0				
W + 3.5				
W + 4.0				

ஆய்வுக்குரிய கம்பியின் தொடக்க நீளம் l எனவும் சராசரி ஆரம் r எனவும் கொண்டால், கம்பிப் பொருளின் யங் குணகம்

$$q = \frac{F/A}{dl/l} = \frac{F/\pi r^2}{dl/l}$$

அதாவது $$q = \frac{F\ l}{\pi r^2 dl}$$

5.2.5 மீட்சிக் குணகத்தின் பயன்பாடுகள்

உரிய பொருளை தகுந்த அளவுகளில் (நீளம், அகலம் போன்றவை) சரியான பயன்பாட்டிற்குத் தேர்வு செய்ய பொருள்களின் மீட்சிக் குணகத்தைப் பற்றிய அறிவு நமக்கு உதவுகிறது. பின்வரும் எடுத்துக்காட்டுகள் இதனை விளக்கும்.

(i) அதிக சுமையைத் தூக்குவதற்கும் நகர்த்துவதற்கும் பளு தூக்கும் இயந்திரம் (Crane) பயன்படுவதை நம்மில் பலர் பார்த்திருக்கலாம். அதில் தடிமனான உலோகக் கயிறு உள்ளது. இந்தக் கயிற்றால் தூக்கப்படும் சுமையின் பெரும மதிப்பு குறிப்பிடப்பட வேண்டும். எந்த சூழ்நிலையிலும் சுமையின் பெரும மதிப்பானது கயிற்றுப் பொருளின் மீட்சி எல்லையை விட அதிகமாக இருத்தல் கூடாது. மீட்சி எல்லையின் மதிப்பு மற்றும் பொருளின் ஓரலகு நீளத்திற்கு ஏற்படும் நீட்சி ஆகியவற்றை அறிவதன் மூலம், கயிற்றின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பைக் கணக்கிடலாம். இதிலிருந்து (கயிறு) கம்பியின் ஆரத்தை அறியலாம்.

(ii) பாலம் ஒன்றை (bridge) வடிவமைக்கும்போது, அதன்மீது செல்லக்கூடிய வாகனங்கள் மற்றும் அவற்றின் சுமை, பாலத்தின் எடை, காற்றின் விசை போன்றவற்றை கருத்தில் கொண்டு, அது வளைந்து விடாமலும், முறிந்து விடாமலும் வடிவமைக்க வேண்டும்.

5.3 பாய்மங்கள்

புறவிசை ஒன்றின் செயற்பாட்டினால் பாயக்கூடிய பொருள்கள் பாய்மங்களாகும். பாய்மம் என்ற சொல் நீர்மம் வளிமம் ஆகிய இரண்டையும் குறிக்கும். நீர்மம் மற்றும் வளிமங்கள் பாய்மம் என்று அழைக்கப்பட்டாலும் இரண்டிற்கும் இடையே குறிப்பிடத்தக்க வேறுபாடுகள் உண்டு. எடுத்துக்காட்டாக, வளிமங்கள், அமுக்கப்படக் கூடியவை. ஆனால், நீர்மங்கள் ஏறக்குறைய அமுக்க இயலாதவை. பாய்மங்களின் இயந்திரவியலைக் காணும் போது நீர்மம் மற்றும் வளிமங்களின் பாயும் தன்மைக்கு தொடர்புடைய பண்புகளை மட்டும் எடுத்துக்கொள்கிறோம்.

5.3.1 நீர்மத் தம்பத்தின் அழுத்தம்

குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு A உள்ள ஒரு உருளைக் கலத்தில் நீர்மத் தம்பத்தின் உயரம் h எனக் கொள்வோம். நீர்மத்தின் அடர்த்தி ρ எனில் அதன் எடை

$$W = \text{நீர்மத்தின் நிறை} \times g$$

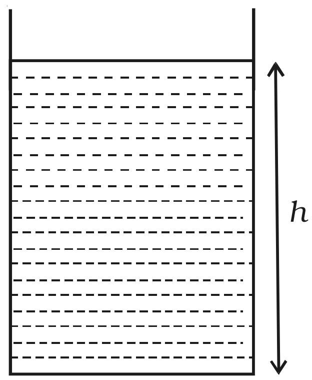
$$W = Ah\rho g$$

ஓரலகு பரப்பில் செயற்படும் விசை, அழுத்தம் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$\therefore \text{அழுத்தம்} = \frac{\text{நீர் மத்தின் எடை}}{\text{குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு}}$$

$$= \frac{Ah\rho g}{A} = h\rho g$$

$$\therefore \quad P = h\rho g$$



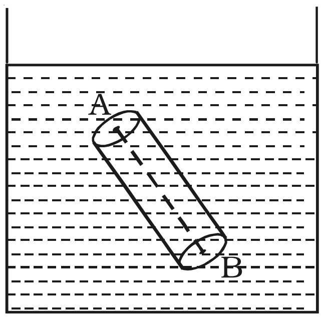
படம் 5.9 நீர்மத்தம்பத்தின் அழுத்தம்

5.3.2 பாஸ்கல் விதி

நீர்மத்தில், ஓரிடத்தில் ஏற்படும் அழுத்தத்தின் மாற்றமானது சிறிதும் மாறாமல் மற்ற அனைத்துப் பாகங்களுக்கும் பரவுகின்றது என்பது பாய்மத்தின் அழுத்தம் பற்றிய ஒரு முக்கியமான உண்மையாகும். பிளெய்ஸ் பாஸ்கல் (Blaise Pascal, 1623 – 1662) என்ற பிரெஞ்சு கணித மற்றும் இயற்பியலாளர் இதனை எடுத்துரைத்தார். இந்த விதி பாஸ்கல் விதி எனப்படுகிறது.

ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தைப் புறக்கணிக்க முடியுமெனில், சமநிலையில் உள்ளதொரு பாய்மத்தில், அழுத்தம் அனைத்து இடங்களிலும் சமமாக இருக்கும் என்பதே பாஸ்கலின் விதியாகும்.

A, B என்ற இரண்டு புள்ளிகளை பாய்மத்தினுள் கருதுக. A, B என்ற இந்த இரண்டு புள்ளிகள், ஒரு கற்பனையான உருளையின் மேல் மற்றும் கீழ்ப்பரப்பில் இருக்குமாறு கருதுக. (படம் 5.10). பாய்மத்தின் வெளியிலிருந்து செயற்படும் விசைகளினால் உருளையானது சமநிலையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த விசைகள் உருளையின் மீது செங்குத்தாக, அனைத்துத் திசைகளிலிருந்தும் செயற்படுகின்றன. மேல் மற்றும் கீழ் வட்டப் பரப்பின் மீது செயற்படும் விசைகள் வளைவுப் பரப்பின் மீது செயற்படும் விசைகளுக்கு செங்குத்தாக உள்ளன. ஆகையினால், A மற்றும் B பரப்பின் மீது செயற்படும் விசைகள் சமமாகவும் எதிரெதிராகவும் உள்ளதால் அவைகளின் கூட்டுத்தொகை சுழியாகும். இந்த இரண்டு பரப்புகளின் பரப்பளவு சமமாதலால், A-யில் ஏற்படும் அழுத்தம் B-யின் அழுத்தத்திற்கு சமம் எனக் கொள்ளலாம். இதுவே ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தை கருத்தில் கொள்ளாதபோது பாஸ்கல் விதியின் நிரூபணமாகும்.



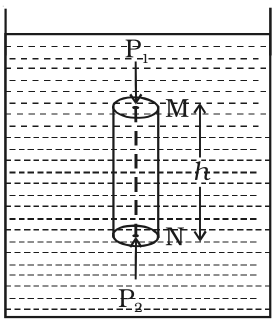
படம் 5.10 ஈர்ப்பு முடுக்கமின்றி பாஸ்கலின் விதி

பாஸ்கல் விதியும் ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தின் விளைவும்

ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தைக் கருத்தில் கொண்டால், பாஸ்கல் விதி மாற்றியமைக்கப்பட வேண்டும்.

ஒரு கலனில் h உயரமுள்ளதொரு உருளையான நீர்மத் தம்பத்தை எடுத்துக்கொள்வோம் (படம் 5.11). நீர்மத்தின் அடர்த்தி ρ எனக் கொள்வோம்.

ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தைப் புறக்கணித்தால், M-ல் உள்ள அழுத்தம் N-ல் உள்ள அழுத்தத்திற்கு சமமாகும். ஈர்ப்பு முடுக்கத்தை கருத்தில் கொண்டால் அவை இரண்டும் சமமாகாது.



படம் 5.11 பாஸ்கல் விதியும் ஈர்ப்பின் முடுக்கத்தின் விளைவும்

நீர்ம உருளை சமநிலையில் இருப்பதனால், அதன் மீது செயற்படும் விசைகள் சமமாக இருக்கின்றன. கீழ்க்காண் விசைகள் செங்குத்தாகச் செயல்படுகின்றன.

(i) மேற்பரப்பில், செங்குத்தாக கீழ் நோக்கிச் செயற்படும் விசை $P_1 A$

(ii) செங்குத்தாக கீழ்நோக்கிச் செயற்படும் நீர்மத் தம்பத்தின் எடை mg

(iii) கீழ்ப்பரப்பில் செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் செயற்படும் விசை $P_2 A$.

இதில் P_1, P_2 என்பன முறையே, மேல் மற்றும் கீழ்ப் பரப்புகளில் உள்ள அழுத்தம், A என்பது வட்டப் பரப்பின் பரப்பளவு மற்றும் m என்பது நீர்மத் தம்பத்தின் நிறை ஆகும்.

சமநிலையில்,

$$P_1A + mg - P_2A = 0$$

அல்லது $P_1A + mg = P_2A$

$$P_2 = P_1 + \frac{mg}{A}$$

ஆனால் $m = Ah\rho$

$$\therefore \quad P_2 = P_1 + \frac{Ah\rho g}{A}$$

அதாவது $P_2 = P_1 + h\rho g$

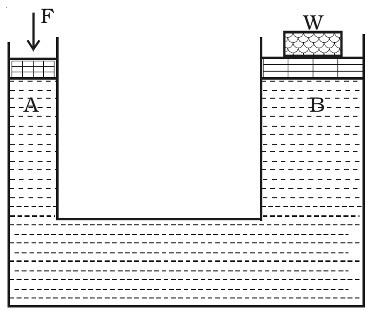
சம ஆழத்திலுள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் அழுத்தம் ஒத்த மதிப்புடையவையாகும் என்பதை இந்தச் சமன்பாடு நிரூபிக்கின்றது. இது பாஸ்கலின் விதியை வேறுவிதமாக கூறுவதற்கு வழி வகுக்கிறது. ''மூடப்பட்ட கலனில் ஓய்வு நிலையில் இருக்கும் பாய்மத்தில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் அழுத்த மாற்றம், சிறிதும் குறையாமல் பாய்மத்தில் அனைத்துப் புள்ளிகளுக்கும் மாற்றப்பட்டு, அனைத்துத் திசைகளிலும் செயல்படும்.''

5.3.3 பாஸ்கல் விதியின் பயன்பாடுகள்

(i) நீரியல் தூக்கி (hydraulic lift)

மிக அதிக சுமையைத் தூக்கப் பயன்படும் நீரியல் தூக்கி பாஸ்கல் விதியின் முக்கியப் பயன்பாடுகளில் ஒன்றாகும். நீரியல் தூக்கி ஒன்று படம் 5.12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

நீரியல் தூக்கி ஒரு திரவக் கொள்கலனைக் கொண்டது. பெரிய மற்றும் சிறிய உருளையான முனைகளைக் கொண்ட இந்த கொள்கலனில் இரண்டு பிஸ்டன்கள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். பிஸ்டன்கள் A மற்றும் B–யின் பரப்பளவு முறையே a_1 மற்றும் a_2 எனவும், A-யின் மீது செலுத்தப்படும் விசை F மற்றும் B-யின் மீதுள்ள சுமை W எனவும் கொண்டால், $\dfrac{F}{a_1} = \dfrac{W}{a_2}$



படம் 5.12 நீரியல் தூக்கி

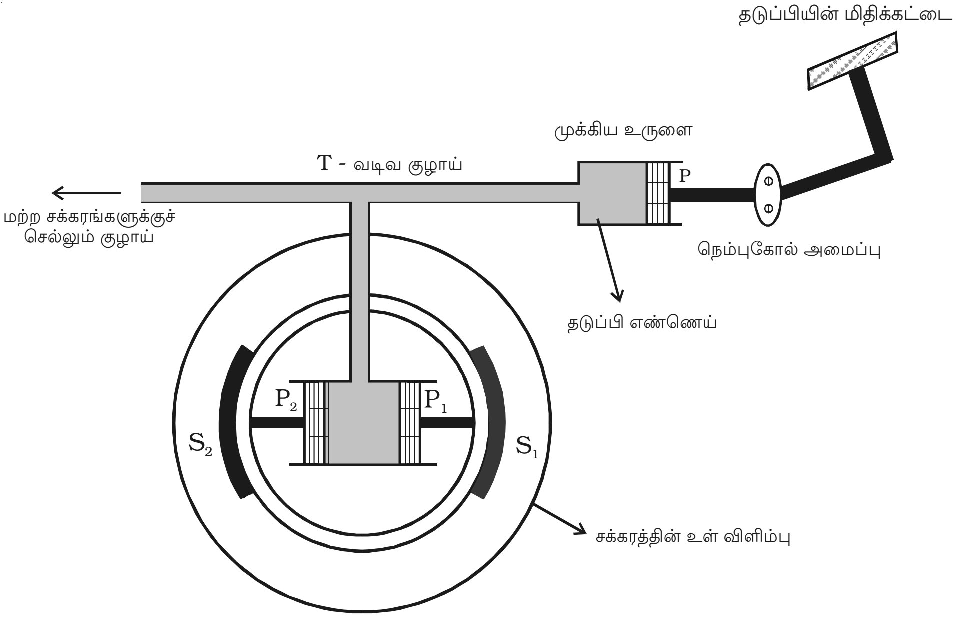
அல்லது $W = F \frac{a_2}{a_1}$

இதுவே, A-யின் மீது F எனும் விசையைச் செலுத்தி, தூக்கக்கூடிய சுமையின் மதிப்பாகும். இந்தச் சமன்பாட்டில் $\frac{a_2}{a_1}$ என்பது நீரியல் தூக்கியின் இயந்திர லாபம் (mechanical advantage) எனப்படுகிறது. இது போன்ற நீரியல் தூக்கியை வாகனம் பழுதுபார்க்கும் நிலையங்களில் நாம் காணலாம்.

(ii) நீரியல் தடுப்பி (Hydraulic brake)

ஓடும் வண்டியில் திடீரென்று தடுப்பிகள் (brakes) செயற்படுத்தப்பட்டால், வண்டி சறுக்கும் சாத்தியம் உண்டு. ஏனெனில், சக்கரங்கள் அனைத்தும் சீராக நிறுத்தப்படுவதில்லை. இந்த அபாயத்திலிருந்து மீள, தடுப்பிகள் செயல்படுத்தப்பட்டால் அனைத்துச் சக்கரங்களும் ஒரே காலத்தில் வேகத்தைக் குறைக்குமாறு தடுப்பியின் அமைப்பு இருக்க வேண்டும். நீரியல் தடுப்பி இவ்வாறு செயல்படுகிறது. அது பாஸ்கல் விதியின்படி இயங்குகிறது.

படம் 5.13 நீரியல் தடுப்பியின் அமைப்பைக் காட்டுகிறது. நீரியல் தடுப்பியில், தடுப்பி எண்ணெய் (brake oil) நிறைந்த ஒரு முக்கிய உருளை உள்ளது. இந்த முக்கிய உருளையில் பொருத்தப்பட்டுள்ள பிஸ்டன் P ஆனது நெம்புகோல் அமைப்பின் (lever



படம் 5.13 நீரியல் தடுப்பி

assembly) வழியாக தடுப்பியின் மிதிகட்டையுடன் **(brake pedal)** பொருத்தப்பட்டிருக்கும். முக்கிய உருளையின் மறுமுனையில் T வடிவிலான குழாய் பொருந்தியிருக்கும். P_1, P_2 என்ற இரு பிஸ்டன்கள் பொருத்தப்பட்ட சக்கர உருளை **(Wheel cylinder)** T வடிவக் குழாயோடு பொருத்தப்பட்டிருக்கும். P_1, P_2 என்ற பிஸ்டன்கள் முறையே S_1, S_2 என்ற இலாடங்களோடு பொருந்தியிருக்கும்.

தடுப்பியின் மிதிகட்டையை அழுத்தியவுடன், பிஸ்டன் P ஆனது நெம்புகோல் அமைப்பின் மூலம் தள்ளப்படுகிறது. முக்கிய உருளையிலுள்ள அழுத்தம் P_1, P_2 பிஸ்டன்களுக்கு பரவுகிறது. P_1, P_2 பிஸ்டன்கள் தடைக்கட்டையை **(brake shoe)** தள்ளுகின்றன. அதனால் கட்டைகள் சக்கரத்தின் உள் விளிம்பை அழுத்துகின்றன. இவ்வாறு சக்கரத்தின் இயக்கம் நிறுத்தப்படுகிறது. P_1, P_2 ஆகியவற்றின் பரப்பளவு Pயின் பரப்பளவைவிட அதிகமாகும். ஆகையால் மிதிக்கட்டையில் செயற்படுத்தப் படும் சிறிய விசையானது சக்கரத்தின் விளிம்பில் அதிக அழுத்தத்தை ஏற்படுத்துகிறது.

அனைத்துச் சக்கரங்களுக்கும் சமமான அழுத்தம் தர வேண்டியதனால், முக்கிய உருளையானது எல்லா சக்கரங்களோடும் குழாய்களின் மூலம் இணைக்கப்பட்டிருக்கும்.

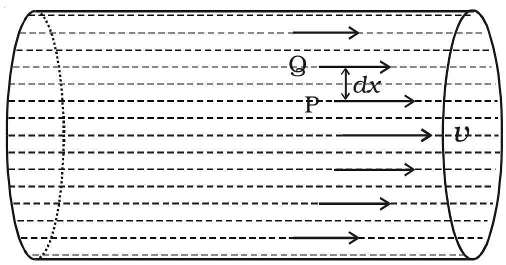
5.4 பாகுநிலை

ஒரே மாதிரியான இரண்டு பெய்குழல்களில் **(funnels)** ஒன்றில் நீரையும் மற்றொன்றில் விளக்கெண்ணெயையும் சம அளவில் ஊற்றினால், நீர் வேகமாகவும் விளக்கெண்ணெய் மெதுவாகவும் வெளியேறுவதைக் காண்கிறோம். இதற்கு நீர்மத்தில் செயல்படுகின்ற உராய்வு விசை காரணமாகும். அடுத்தடுத்துள்ள நீர்ம ஏடுகளால் ஏற்படும் இந்த விசையை பாகுநிலை விசை என்றும் இத்தன்மையினை பாகுநிலை என்றும் கூறுகிறோம்.

தன் வெவ்வேறு ஏடுகளின் சார்பு இயக்கத்தை எதிர்க்கும் நீர்மத்தின் தன்மையே பாகுநிலை ஆகும். நீர்மங்களும் வளிமங்களும் இத்தன்மையைப் பெற்றிருந்தாலும், நீர்மங்களின் பாகுநிலை வளிமங்களின் பாகுநிலையை விட அதிகமாகும்.

பாகியல் எண்

ஒரு குழாயின் வழியே நீர்மம் சீராகப் பாய்வதாகக் கருதுவோம் (படம் 5.14). குழாயின் சுவர்களைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் நீர்ம ஏடுகளின் திசைவேகம் சுழி ஆகும். குழாயின் அச்சை நோக்கி செல்கையில், நீர்ம ஏடுகளின் திசைவேகம் அதிகரிக்கும். மைய ஏட்டின் திசைவேகம் பெரும மதிப்பான v–யைப் பெறுகிறது. dx இடைத் தொலைவில்



படம் 5.14 நீர்மத்தின் சீரான ஓட்டம்

அமைந்துள்ள P, Q என்ற இரண்டு நீர்ம ஏடுகளைக் கருதுவோம். இவைகளின் திசைவேக மாறுபாடு dv எனக் கொள்வோம்.

இரண்டு ஏடுகளுக்கிடையே தொடுகோட்டின் திசையில் செயற்படும் பாகுநிலை விசை F ஆனது (i) தொடர்புள்ள இரண்டு நீர்ம ஏடுகளின் பரப்பளவு A-க்கு நேர்த்தகவிலும் (ii) ஓட்டத்திற்குச் செங்குத்தாக ஏற்படும் திசைவேகச் சரிவு $\frac{dv}{dx}$ -க்கு நேர்த்தகவிலும் இருக்கும்.

$$\therefore \quad F \,\alpha\, A \,\frac{dv}{dx}$$

$$F = \eta \,A\, \frac{dv}{dx}$$

இதில் η என்பது பாகியல் எண் ஆகும். இந்த சமன்பாட்டை நியூட்டனின் பாய்மங்களின் பாகுநிலை ஓட்டத்திற்கான விதி என்று கூறுகிறோம்.

இதில் $A = 1m^2$ மற்றும் $\frac{dv}{dx} = 1s^{-1}$ எனில்

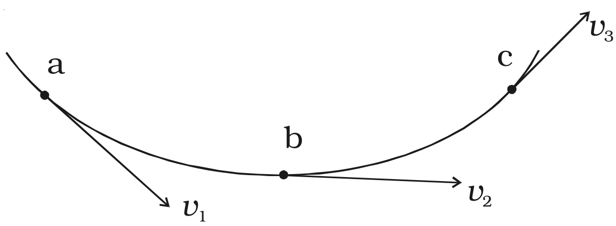
$F = \eta$

ஓரலகுப் பரப்புள்ள, செங்குத்தாக ஓரலகுத் திசைவேகச் சரிவைக் கொண்ட இரண்டு நீர்ம ஏடுகளுக்கிடையே தொடுகோட்டின் திசையில் செயற்படும் பாகுநிலை விசையின் எண் மதிப்பே பாகியல் எண் ஆகும்.

η –வின் அலகு $N\ s\ m^{-2}$ ஆகும். அதன் பரிமாண வாய்பாடு $ML^{-1}T^{-1}$ ஆகும்.

5.4.1 வரிச்சீர் ஓட்டம்

நீர்மத்தின் ஒவ்வொரு துகளும் அதற்கு முன் செல்லும் துகளின் பாதையிலேயும், ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் கடக்கும் துகளின் திசைவேகம் அதற்கு முன் செல்லும் துகளின் திசைவேகத்திலேயும் செல்லும் சீரான ஓட்டம் வரிச்சீர் ஓட்டம் எனப்படும்.



படம் 5.15 வரிச்சீர் ஓட்டம்

abc வழியாக நீர்மம் ஒன்று பாய்வதாகக் கருதுவோம். மேலும் a, b, c என்ற புள்ளிகளில் நீர்மத்தின் திசைவேகம் முறையே v_1, v_2 மற்றும் v_3 என்க. வரிச்சீர் ஓட்டத்தில், a என்ற புள்ளியை வந்தடையும் அனைத்துத் துகள்களும் அதே திசைவேகம் v_1 –ஐக் கொண்டிருக்கும். அது a என்ற புள்ளியில் வரையப்படும் தொடுகோட்டின்

திசையிலிருக்கும். b–யை வந்தடையும் துகள்களின் திசைவேகம் v_2 ஆகும். இத்திசைவேகம் v_2 ஆனது திசைவேகம் v_1–க்குச் சமமாகவோ அல்லது சமமில்லாமலோ இருக்கலாம். இதேபோல் c–யைக் கடக்கும் துகள்கள் v_3 என்ற திசைவேகத்தை அடையும். ஆக, வரிச்சீர் ஓட்டத்தில், ஒவ்வொரு துகளின் திசைவேகமும் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியைக் கடக்கும் போது சமமாக இருக்கும்.

பாய்மத்தின் திசைவேகம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்குள் இருந்தால் மட்டுமே வரிச்சீர் ஓட்டம் நீடிக்கும். இந்தக் குறிப்பிட்ட திசைவேகம் மாறுநிலைத் திசைவேகம் **(critical velocity)** எனப்படும்.

5.4.2 சுழற்சி ஓட்டம்

நீர்மத்தின் திசைவேகம் மாறுநிலைத் திசைவேகத்தைவிட அதிகமானால், நீர்மத்தின் பாதையும் திசைவேகமும் ஒழுங்கற்றதாக இருக்கும். இந்நிலையில் நீர்மம் தன் சீரான ஓட்டத்தை இழக்கும். இது சுழற்சி ஓட்டம் எனப்படும். சுழற்சி ஓட்டத்தின் சில எடுத்துக்காட்டுகள் :

(i) ஊதுபத்தியிலிருந்து வெளியேறும் புகையானது சிறிது தூரம் மேலெழும்பிய பிறகு ஒழுங்கற்ற முறையில் கலையும்.

(ii) கன மழையினால் ஏற்படும் திடீர்-வெள்ளம்.

எந்தவொரு குறிப்பிட்ட திசைவேகத்திற்குக் கீழே நீர்ம ஓட்டம் வரிச்சீர் ஓட்டமாகவும், அதற்கு மேல் அது சுழற்சி ஓட்டமாகவும் மாறுகின்றதோ அத்திசைவேகம் மாறுநிலைத் திசைவேகம் எனப்படும்.

5.4.3 ரெனால்டு எண்

ரெனால்டு எண் என்பது ஒரு குழாயினூடே ஏற்படும் நீர்ம ஓட்டத்தின் தன்மையைப் பற்றி அறிய உதவும் எண்ணாகும்.

அது N_R என்று குறிக்கப்பெறுகிறது.

அதன் சமன்பாடு $N_R = \dfrac{v \ \rho D}{\eta}$ ஆகும்.

இதில் v என்பது திசைவேகம், ρ என்பது நீர்மத்தின் அடர்த்தி, η என்பது பாகியல் எண் மற்றும் D என்பது குழாயின் விட்டம் ஆகும்.

N_R-ன் மதிப்பு 0விலிருந்து 2000 வரை இருக்கும்போது நீர்மம் வரிச்சீர் ஓட்டத்தில் இருப்பதாகக் கருதப்படும். சுழற்சி ஓட்டத்தில் N_R- ன் மதிப்பு 3000-க்கும் மேற்படும். இவ்வெண் 2000க்கும் 3000-க்கும் இடையிலிருக்குமானால், அவ்வோட்டம் வரிச்சீராகவும் இல்லாமல், சுழற்சியாகவும் இல்லாமல், ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றாக மாறக்கூடும்.

குறுகிய குழாயில் பாயும் அதிகப் பாகு நிலை கொண்ட நீர்மங்கள் வரிச்சீர் ஓட்டத்தை அடைய முயலும். அகன்ற குழாயில் பாயும் குறைந்த பாகுநிலையுள்ள நீர்மங்கள் சுழற்சி ஓட்டத்தை அடைய முயலும்.

5.4.4 ஸ்டோக் விதி (அதிக பாகுநிலையுள்ள நீர்மங்களுக்கு)

அதிக பாகுநிலை கொண்ட நீர்மத்தினூடே கீழ்நோக்கி நகரும்போது, ஒரு பொருளானது அதனுடன் தொடர்பு கொண்ட ஏடுகளை இழுக்கும். இதனால் ஏடுகளுக்கிடையே ஒப்புமை இயக்கம் (relative motion) ஏற்படுகிறது. இதன் காரணமாக, கீழ்நோக்கிச் செல்லும் பொருளின் மீது பாகுநிலை விசை F செயல்படுகிறது. பல நீர்மங்களில், கோள வடிவம் கொண்ட பொருள்களின் இயக்கத்தை ஆராய்ந்த ஸ்டோக், கோள வடிவப் பொருளின் மீது செயற்படும் பாகுநிலை விசை F ஆனது

(i) பாகியல் எண் η

(ii) கோளத்தின் ஆரம் a மற்றும்

(iii) கோள வடிவப் பொருளின் திசைவேகம் v ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது என உறுதிப்படுத்தினார்.

பரிமாண முறைப்படி $F = k\ \eta a v$ என்று நிரூபிக்கலாம். k-யின் மதிப்பு 6π என சோதனை மூலம் ஸ்டோக் கண்டறிந்தார்.

$$k = 6\pi$$

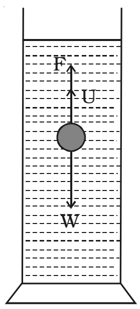
$$\therefore\ F = 6\pi\ \eta a v$$

இத்தொடர்பு ஸ்டோக் விதி எனப்படும்.

5.4.5 முற்றுத்திசைவேகத்தின் (terminal velocity) சமன்பாடு

a ஆரமும் ρ அடர்த்தியும் கொண்ட சிறிய உலோகக் குண்டானது σ அடர்த்தி கொண்ட நீர்மத்தில் ஈர்ப்பின் விசையினால் கீழ்நோக்கி நகருவதாகக் கருதுவோம். குண்டின் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்போது, அதன் மீது செயல்படும் பாகுநிலை விசையும் அதிகரிக்கும். ஒரு நிலையில் குண்டின் எடையானது (W), மேல்நோக்கி செயல்படும் பாகியல் விசை (F) மற்றும் மிதப்பு விசை (U) ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகிறது. (படம் 5.16) இந்நிலையில் குண்டின்மீது நிகர விசை (net force) ஏதும் செயற்படவில்லை. குண்டு, முற்றுத் திசைவேகம் v என்ற மாறாத் திசைவேகத்தில் கீழ்நோக்கி இயங்குகிறது.

$$\therefore\ W - F - U = O \qquad \ldots(1)$$



படம் 5.16 பாகுநிலையுள்ள நீர்மத்தில் கோளம் கீழிறங்குதல்

பாகுநிலைத் தன்மையுள்ள நீர்மத்தில் கீழ்நோக்கி நகரும் பொருளொன்று பெறும் மாறாத் திசைவேகம் முற்றுத் திசைவேகம் எனப்படும்.

(1)-லிருந்து, $W = F + U$ ...(2)

ஸ்டோக் விதிப்படி, பாகுநிலை விசை $F = 6\pi\eta av$.

மிதப்பு விசை U = குண்டினால் இடப் பெயர்ச்சி செய்யப்பட்ட நீர்மத்தின் எடை

$$= \frac{4}{3}\pi a^3 \sigma g$$

குண்டின் எடை $W = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g$

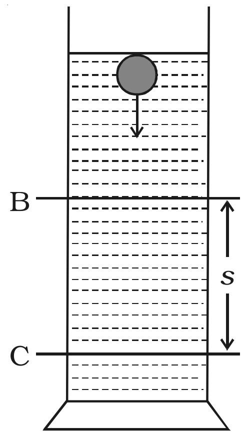
(2)-ல் ஈடு செய்ய $\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g = 6\pi \eta av + \frac{4}{3}\pi a^3 \sigma g$

அல்லது $6\pi \eta av = \frac{4}{3}\pi a^3 (\rho - \sigma) g$

$$\therefore v = \frac{2}{9}\frac{a^2(\rho - \sigma)g}{\eta}$$

5.4.6 அதிக பாகுநிலையுள்ள நீர்மம் ஒன்றின் பாகியல் எண்ணை சோதனை முறையில் காணல்

அதிக பாகுநிலை கொண்ட விளக்கெண்ணெய் போன்ற நீர்மங்களின் பாகியல் எண்ணை ஸ்டோக் முறையில் காணலாம். ஆய்வுக்குரிய நீர்மத்தை உயரமான, அகன்ற கலனில் எடுத்துக் கொள்வோம். படம் 5.17-ல் காட்டியபடி, B, C என்ற இருகுறியீடுகளைக் குறிக்கவும். சிறிய எஃகுக் கோளம் ஒன்றினை மெதுவாக நீர்மத்தினுள் விழச் செய்யவும்.



படம் 5.17 அதிகப் பாகு நிலை உள்ள திரவத்தின் பாகியல் எண்ணைக் கணக்கிடும் சோதனை

எஃகுக் கோளம் B-யை அடையும்போது அதன் திசைவேகம் முற்றுத் திசைவேகத்தைப் பெற்றிருக்கும்படி B-யை நீர்மப் பரப்பிற்கு அதிக ஆழத்தில் குறித்தல் வேண்டும்.

எஃகுக் கோளம் B-யைக் கடக்கும்போது நிறுத்து கடிகாரத்தை (Stop clock) இயக்கி, அது C-யை அடைய எடுத்துக் கொள்ளும் காலம் t-யை கணக்கிட வேண்டும். BC என்ற

தொலைவு s எனில், முற்றுத் திசைவேகம் $v = \frac{s}{t}$

முற்றுத் திசைவேகம் $v = \frac{2}{9}\frac{a^2(\rho - \sigma)g}{\eta}$

$$\therefore \frac{s}{t} = \frac{2}{9}\frac{a^2(\rho - \sigma)g}{\eta} \text{ அல்லது } \eta = \frac{2}{9}a^2(\rho - \sigma)g \frac{t}{s}$$

a, ρ மற்றும் σ ஆகியவற்றை அறிந்தால், η–வின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

ஸ்டோக் விதியின் பயன்பாடு

மழைத்துளி விழுதல் : மழைத்துளிகள் சிறியதாக இருக்கும்போது அதன் முற்றுத் திசைவேகம் குறைவு. ஆகையினால் அவை மேகங்களாக காற்றில் மிதக்கின்றன. ஆனால் துளிகள் ஒன்றோடு ஒன்று இணைந்து பெரியதானால், அவற்றின் முற்றுத் திசைவேகங்களும் அதிகரிக்கும். ஏனெனில் $v \propto a^2$. எனவே, அவை மழைத் துளிகளாக கீழே விழுகின்றன.

5.4.7 ப்வாய்சொய் சமன்பாடு ***(Poiseuille's equation)***

ப்வாய்சொய் என்பவர் நுண்புழைக்குழாய் (capillary tube) ஒன்றின் வழியே செல்லும் நீர்மம் ஒன்றின் சீரான இயக்கத்தை ஆராய்ந்தார். குழாயின் வழியே ஒரு நொடியில் பாயும் நீர்மத்தின் பருமனுக்கான தொடர்பு ஒன்றைப் பெற்றார்.

r ஆரமும், l நீளமும் கொண்ட நுண்புழைக்குழாய் வழியே பாகியல் எண் η கொண்டிருக்கும் நீர்மம் சீராகப் பாய்வதாகக் கொள்வோம். நுண்புழைக் குழாயின் முனைகளுக்கிடையே அழுத்த வேறுபாடு P எனில் ஒரு நொடியில் குழாயில் பாயும் நீர்மத்தின் பருமன் V ஆனது η, r மற்றும் அழுத்தச் சரிவு $\left(\frac{P}{l}\right)$ ஆகியவற்றைச் சார்ந்திருக்கும்.

அல்லது $V \propto \eta^x r^y \left(\frac{P}{l}\right)^z$

$$V = k\, \eta^x r^y \left(\frac{P}{l}\right)^z \qquad \ldots(1)$$

இதில் k என்பது தகவு மாறிலி

சமன்பாடு (1)–ஐ, பரிமாண முறையில் எழுதினால்

$$[L^3T^{-1}] = [ML^{-1}\ T^{-1}]^x\ [L]^y \left[\frac{ML^{-1}T^{-2}}{L}\right]^z$$

L, M, T ஆகியவற்றின் படிகளை ஒப்பிடுகையில் $x = -1,\ y = 4,\ z = 1$ என அறியலாம்.

சமன்பாடு (1)ல் ஈடு செய்ய, $V = k\ \eta^{-1}\ r^4 \left(\frac{P}{l}\right)^1$

$$V = \frac{kPr^4}{\eta l}$$

சோதனையின் வாயிலாக $k = \frac{\pi}{8}$ எனக் கண்டறியப்பட்டது.

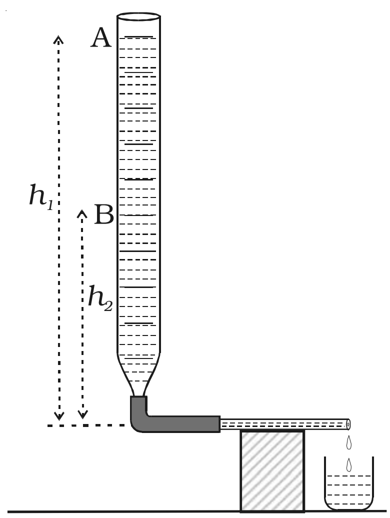
$$\therefore\ V = \frac{\pi P r^4}{8\eta l}$$

இதுவே ப்வாய்சொய் சமன்பாடு ஆகும்.

5.4.8 நீரின் பாகியல் எண்ணை ப்வாய்சொய் முறையில் கண்டறிதல்

நுண்புழைக்குழாய் ஒன்று இரப்பர் குழாய் மூலம் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்ட பியூரெட்டுடன் இணைக்கப்பட்டு, படம் 5.18–ல் காட்டியபடி, கிடைமட்டமாக வைக்கப்படுகிறது. பியூரெட்டில் நீர் நிரப்பப்பட்டு அடைப்பான் (stopper) அகற்றப்படுகிறது. நீரானது A குறியீட்டிலிருந்து B குறியீட்டை அடைய எடுத்துக் கொள்ளும் காலம் கண்டறியப்படுகிறது. A, B குறியீடுகளுக்கிடையேயான பருமன் V எனில் ஒரு நொடியில் பாயும் நீர்மத்தின் அளவு $\frac{V}{t}$. நுண்புழைக் குழாயின் நீளம் மற்றும் ஆரம் முறையே l மற்றும் r எனில்,

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi P r^4}{8\eta l} \qquad ...(1)$$



படம் 5.18 ப்வாய்சொய் முறையில் பாகியல் எண் காணல்

ρ என்பது நீர்மத்தின் அடர்த்தி எனில், நுண்புழைக்குழாயின் இரு முனைகளுக்கிடையேயான தொடக்க அழுத்த வேறுபாடு $P_1 = h_1\rho g$ மற்றும் இறுதி அழுத்த வேறுபாடு $P_2 = h_2\rho g$ ஆகும். சராசரி அழுத்த வேறுபாடு P என்றால்

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$= \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)\rho g = h\rho g \qquad \left[\because h = \frac{h_1 + h_2}{2}\right]$$

(1)–லிருந்து, $\frac{V}{t} = \frac{\pi h\rho g r^4}{8l\eta}$

அல்லது $\eta = \frac{\pi h\rho g r^4 t}{8lV}$

5.4.9 பாகுநிலை - பயன்பாடுகள்

பாகுநிலையின் முக்கியத்துவத்தை கீழ்க்கண்ட எடுத்துக்காட்டுகளால் அறியலாம்.

(i) கரிம நீர்மங்களின் **(organic liquids)** மூலக்கூறின் எடையை பாகுநிலை எண்ணைப் பயன்படுத்திக் கண்டறியலாம்.

(ii) குறிப்பிட்ட இயந்திரங்களுக்குத் தகுந்த உயவிகளைத் **(lubricants)** தேர்ந்தெடுக்க, பாகியல் எண்ணும் வெப்ப நிலையுடன் அதன் மாறுபாட்டைப் பற்றிய அறிவும் நமக்கு உதவுகின்றன. இலகு ரக இயந்திரங்களில் குறைந்த பாகுநிலை கொண்ட அடர்வு குறைந்த **(thin)** எண்ணெய் (எடுத்துக்காட்டாக, கடிகாரத்தில் பயன்படும் உயவு எண்ணெய்) பயன்படுத்தப்படுகிறது. கனரக இயந்திரங்களில் அதிக பாகுநிலை கொண்ட எண்ணெய் [எடுத்துக்காட்டாக, கிரீஸ் **(grease)**] பயன்படுத்தப்படுகிறது.

5.5 பரப்பு இழுவிசை

பொருளொன்றின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான விசையை மூலக்கூறிடை விசை என்கிறோம். அடிப்படையில் இது மின்தன்மை உடையது. இரண்டு மூலக்கூறுகளின் இடையேயான இடைவெளி அதிகமாக இருப்பின், மூலக்கூறு ஒன்றின் எதிரெதிர் மின்னூட்டங்களுக்கு இடைப்பட்ட இடைவெளியானது, ஒத்த மின்னூட்டங்களுக்கு இடைப்பட்ட இடைவெளியை விடக் குறைவாக இருக்குமாறு மூலக்கூறில் மின்னூட்டங்களின் பரவல் அமைவதனால் கவர்ச்சி விசை செயல்படுகிறது. மூலக்கூறிடை தொலைவு குறைவாக இருப்பின் மூலக்கூறுகளின் எலக்ட்ரான்கள் நெருக்கமாக இருப்பதனால் வலிமைமிக்க விலக்கு விசை இருக்கும்.

மூலக்கூறிடை விசையானது **(i)** ஓரினக் கவர்ச்சி விசை **(cohesive force)** **(ii)** வேறினக் கவர்ச்சி விசை **(adhesive force)** என இரு வகைப்படும்.

ஓரினக் கவர்ச்சி விசை

ஒரே பொருளின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான கவர்ச்சி விசை ஓரினக் கவர்ச்சி விசை எனப்படும். இந்த ஓரினக் கவர்ச்சி விசையானது திடப்பொருள்களில் மிக வலிமையானதாகவும் நீர்மங்களில் வலிமை குறைந்ததாகவும், வளிமங்களில் வலிமையற்றதாகவும் காணப்படுகிறது.

வேறினக் கவர்ச்சி விசை

வேறுபட்ட பொருள்களின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான கவர்ச்சி விசையே வேறினக் கவர்ச்சி விசையாகும். எடுத்துக்காட்டாக, எழுதும்போது தாளில் மை ஒட்டிக்கொள்வது வேறினக் கவர்ச்சி விசையின் காரணத்தினால் ஆகும். பெவிகால், கோந்து (gum) முதலியன அதிகமான வேறின விசையைக் கொண்டுள்ளன.

நீரின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான ஓரினக் கவர்ச்சி விசை, நீர் மற்றும் கண்ணாடியின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான வேறினக் கவர்ச்சி விசையைக் காட்டிலும் குறைவாக இருப்பதனால் நீர், கண்ணாடியை ஈரமாக்குகிறது. ஆனால் பாதரசம் கண்ணாடியில் ஒட்டுவதில்லை. ஏனென்றால் பாதரத்தின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான ஓரினக் கவர்ச்சி விசை, பாதரசம் மற்றும் கண்ணாடியின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான வேறினக் கவர்ச்சி விசையை விட அதிகமாகும்.

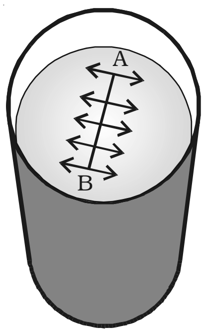
மூலக்கூறுகளின் கவர்ச்சி எல்லையும் அவற்றின் கவர்ச்சிப்புலமும்

ஒரு மூலக்கூறு மற்றொன்றின் மீது கவர்ச்சி விசையை செயற்படுத்தக்கூடிய பெருமத் தொலைவு மூலக்கூறுகளின் கவர்ச்சி எல்லை எனப்படும். திண்மம் மற்றும் நீர்மங்களில் இதன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 10^{-9} m ஆகும்.

ஒரு மூலக்கூறை மையமாகவும், மூலக்கூறு கவர்ச்சி எல்லையை ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு கோளம் வரையப்பட்டால் அது மூலக்கூறின் கவர்ச்சிப்புலம் எனப்படும். மையத்திலுள்ள மூலக்கூறானது தனது கவர்ச்சிப் புலத்துக்குள் உள்ள அனைத்து மூலக்கூறுகளின் மீதும் கவர்ச்சி விசையை செயல்படுத்தும்.

5.5.1 நீர்மத்தின் பரப்பு இழுவிசை

நீர்மம் நிலையாக இருக்கும்போது, அதன் மேற்பரப்பைக் குறைத்துக் கொள்வதற்காக, விரித்துக்கட்டப் பெற்ற மீட்சிப் படலத்தைப் போன்று செயல்படும் நீர்மத்தின் பண்பினைப் பரப்பு இழுவிசை என்கிறோம்.



படம் 5.19 நீர்மப் பரப்பினின் மீதுள்ள விசை

நிலையாக இருக்கும் நீர்மப் பரப்பில் AB என்ற கற்பனைக் கோடு இருப்பதாகக் கொள்வோம். பரப்பு இழுவிசை என்பது இந்த கற்பனைக் கோட்டின் ஓரலகு நீளத்திற்கு செயற்படும் விசையின் அளவாகும். இந்த விசையானது கோட்டிற்குச் செங்குத்தாகவும் நீர்மத்தின் மேற்பரப்பிற்கு தொடுகோட்டுத் திசையிலும் செயல்படும். AB என்ற கோட்டின் l நீளத்திற்குச் செயல்படும் விசை F எனில் பரப்பு இழு விசை $T = \frac{F}{l}$.

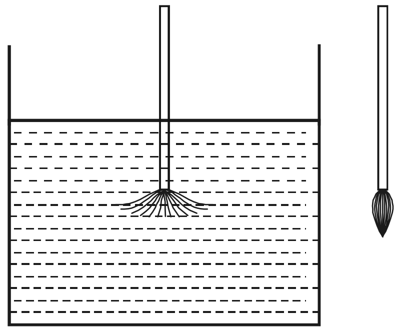
நீர்மத்தின் பரப்பு இழுவிசை என்பது அதன் மேற்பரப்பில் வரையப்பட்ட கற்பனைக் கோட்டின் ஓரலகு நீளத்திற்குச் செங்குத்தாகச் செயல்பட்டு, மேற்பரப்பை

கோட்டின் வழியே இருபுறமும் இழுக்க முயலும் விசையின் அளவாகும். அதன் அலகு $N\ m^{-1}$ மற்றும் அதன் பரிமாண வாய்ப்பாடு $M\ T^{-2}$ ஆகும்.

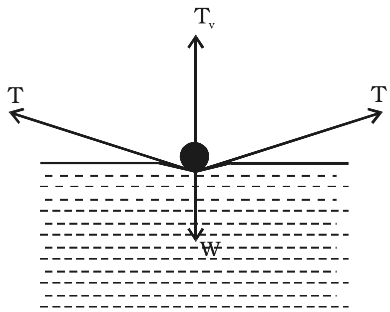
பரப்பு இழுவிசையை விளக்கும் சோதனைகள்

(i) ஒரு தூரிகையை நீருக்குள் அமிழ்த்தினால், அதன் இழைகள் பிரிந்து விரிந்து காணப்படும். ஆனால், அந்த தூரிகையை வெளியே எடுத்தால், இழைகள் ஒன்றாக ஒட்டிக் கொள்கின்றன. ஏனெனில், பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாக நீரின் மேற்பரப்பு சுருங்க முயல்கிறது.

(ii) ஒரு தையல் ஊசியை நீர்ப்பரப்பில் மெதுவாக வைத்தால் அது மிதக்கும். ஊசியின் கீழே உள்ள நீர்ப்பரப்பு சற்று அழுக்கப்பட்டிருக்கும் பரப்பு இழுவிசையானது தொடுகோட்டின் திசையில் செயல்படும். ஊசியின் எடையை, பரப்பு இழுவிசையின் செங்குத்துக் கூறு சமன் செய்கிறது.



தூரிகையைவெளியே எடுத்தால் இழைகள் ஒட்டிக் கொள்கின்றன



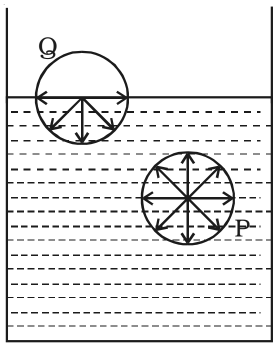
ஊசியானது நீர்ப்பரப்பில் மிதத்தல்

படம் 5.20 பரப்பு இழுவிசையின் எடுத்துக்காட்டுகள்

5.5.2 பரப்பு இழுவிசையின் மூலக்கூறு கோட்பாடு

படம் 5.21-ல் காட்டியபடி P, Q என்ற இரண்டு மூலக்கூறுகளைக் கருதுவோம். இவைகளை மையமாகக் கொண்டும், மூலக்கூறின் கவர்ச்சி எல்லையை ஆரமாக வைத்து அவற்றைச் சுற்றி கவர்ச்சிப் புலம் வரையப்படுகிறது.

P என்ற மூலக்கூறு அதனைச் சுற்றியுள்ள மூலக்கூறுகளால் அனைத்துத் திசைகளிலும் சமமாக கவரப்படுகிறது. எனவே, P-யின் மீது தொகுபயன் விசை ஏதுமில்லை. Q என்ற மூலக்கூறு நீர்மத்தின் மேற்பரப்பில்



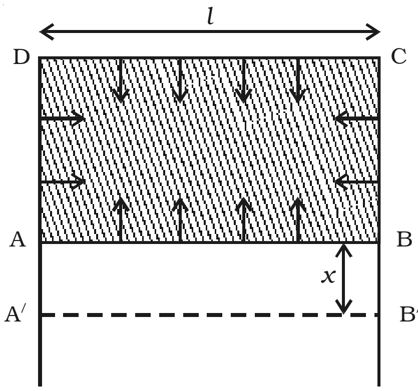
படம் 5.21 மூலக்கூறு கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் பரப்பு இழுவிசை

உள்ளது. அதன் கவர்ச்சிப் புலத்தின் கீழ்ப்பாதியில் அதிக எண்ணிக்கையில் மூலக்கூறுகள் உள்ளதாலும் மேற் பாதி முழுவதும் நீர்மப் பரப்பிற்கு வெளியே இருப்பதாலும் அது கீழ்நோக்கிய தொகுவிசையைப் பெறுகிறது. எனவே நீர்மப் பரப்பில் உள்ள அனைத்து மூலக்கூறுகளும் கீழ்நோக்கிய தொகுபயன் விசையைப் பெற்றிருக்கும்.

ஒரு மூலக்கூறினை நீர்மத்தின் உட்பகுதியிலிருந்து மேற்பரப்புக்குக் கொண்டு வருவதற்கு, கீழ்நோக்கிய இந்த விசையை எதிர்த்து வேலை செய்யப்பட வேண்டும். மூலக்கூறுகள் மீது செய்யப்படும் இவ்வேலையானது நிலையாற்றலாக தேக்கிவைக்கப்படுகிறது. *சமநிலையை அடைய அமைப்பானது சிறும நிலையாற்றலைப் பெற்றிருத்தல் வேண்டும்.* நீர்மத்தின் மேற்பரப்பு சிறும நிலையாற்றலைப் பெற முயலும். நீர்மத்தின் மேற்பரப்பானது சுருங்கி மிகக்குறைந்த பரப்பைப் பெற்று, விறைப்பான மீட்சிப் படலத்தைப் போன்று எப்போதும் இழுவிசையுடையதாக இருக்கிறது.

5.5.3 பரப்பு இழுவிசையும் பரப்பு ஆற்றலும்

மேற்பரப்பின் ஓரலகுப் பரப்பளவிலுள்ள நிலையாற்றல் பரப்பு ஆற்றல் எனப்படும். ABCD என்ற உலோகச் சட்டத்தில் AB நகரக்கூடியதாக இருக்கட்டும். சட்டத்தை சோப்புக் கரைசலில் மூழ்கச் செய்து வெளியே எடுக்கவும். பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாக, சோப்புப் படலமானது ABயை உள்நோக்கி இழுக்கும். T என்பது படலத்தின் பரப்பு இழுவிசை மற்றும் l என்பது AB–யின் நீளம் எனில், இழுக்கும் விசையின் மதிப்பு $2 \times Tl$ ஆகும். 2 என்ற எண் படலத்தின் இரு பரப்புகளைக் குறிக்கிறது.



படம் 5.22 பரப்பு ஆற்றல்

படம் 5.22-ல் காட்டியபடி $A'B'$ என்ற நிலைக்கு AB என்ற கம்பி x தொலைவு நகர்த்தப்பட்டால், செய்யப்பட்ட வேலை

$$W = 2\ Tlx = T2lx$$

ஓரலகுப் பரப்பிற்கு செய்யப்பட்ட வேலை $= \dfrac{W}{2lx}$

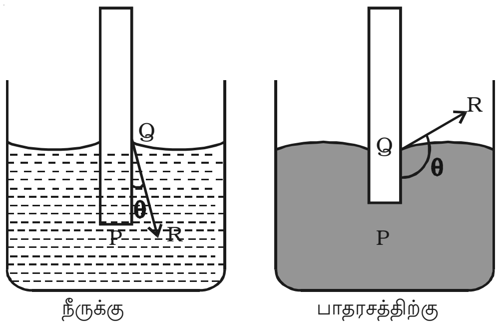
$\therefore$ பரப்பு ஆற்றல் $= \dfrac{T2lx}{2lx} = T$

பரப்பு இழுவிசையென்பது எண் மதிப்பில் பரப்பு ஆற்றலுக்குச் சமமாகும்.

5.5.4 சேர் கோணம் (Angle of contact)

நீர்மத்தின் மேற்பரப்பு ஒரு திண்மப் பொருளுடன் தொடர்பு கொண்டால், தொடுபுள்ளியில் பரப்பு சற்று வளைந்திருக்கும். நீர்மத்தின் தொடுகோட்டிற்கும் நீர்மத்திலுள்ள திண்மப் பொருளின் பரப்பிற்கும் இடைப்பட்ட கோணம் சேர்கோணம் எனப்படும்.

படம் 5.23-ல் QR என்பது Q என்ற தொடுபுள்ளியில் வரையப்பட்ட தொடுகோடாகும். PQR என்னும் கோணம் சேர்கோணம் ஆகும். நீர்மத்தின் பரப்பு குழிந்து இருந்தால், சேர்கோணம் குறுங்கோணமாக இருக்கும். நீர்மத்தின் பரப்பு குவிந்து இருந்தால் சேர்கோணம் விரிகோணமாக இருக்கும்.



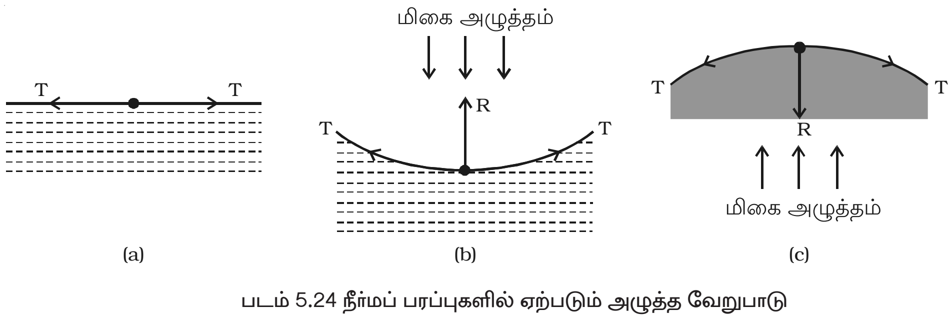
படம் 5.23 **சேர்கோணம்**

சேர்கோணம், நீர்மம் மற்றும் அதனைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் திண்மப் பொருள் ஆகியவற்றைப் பொருத்தது. நீர் மற்றும் கண்ணாடிக்கு சேர்கோணத்தின் மதிப்பு 8^o லிருந்து 18^oவரை ஆகும். தூய்மையான நீர் மற்றும் கண்ணாடிக்கு இதன் மதிப்பு மிகக் குறைவு. எனவே சுழியாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. பாதரசம் மற்றும் கண்ணாடியின் சேர்கோணம் 138^o ஆகும்.

5.5.5 நீர்ம பரப்புகளில் ஏற்படும் அழுத்த மாற்றம்

நீர்மத்தின் மேற்பரப்பு சமதளமானால், பரப்பு இழுவிசையானது கிடைமட்டத்தில் செயல்படும் (படம் 5.24a). கிடைமட்டப் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக அதன் கூறு செயல்படாது. இதனால் நீர்மப் பகுதிக்கும் அதன் புறப் பகுதிக்கும் இடையே அழுத்த வேறுபாடு இல்லை.

நீர்மத்தின் மேற்பரப்பு குழிவாக இருந்தால் (படம் 5.24b), மேற்பரப்பிலுள்ள மூலக்கூறின் மீது பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாகச் செயற்படும் தொகுபயன் விசை R



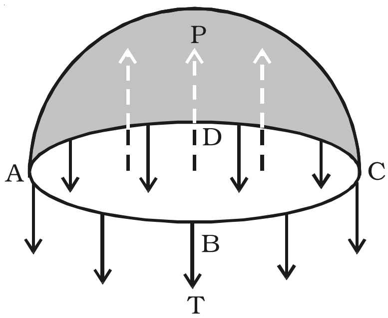
படம் 5.24 நீர்மப் பரப்புகளில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு

மேல்நோக்கிச் செயல்படும். இதனைச் சமன் செய்ய மிகை அழுத்தம் கீழ்நோக்கிச் செயல்பட வேண்டியுள்ளது. மாறாக மேற்பரப்பு குவிந்து இருந்தால் (படம் 5.24c) தொகுபயன் விசை R கீழ்நோக்கி செயல்படும். இதனை சமன் செய்ய மிகை அழுத்தம், மேல்நோக்கிச் செயல்பட வேண்டி இருக்கும்.

எனவே, பரப்பு இழு விசையின் காரணமாக நீர்மத்தின் வளைவுப் பரப்பின் குழிந்த பக்கத்திலுள்ள அழுத்தம் எப்போதும் குவிந்த பக்கத்திலுள்ள அழுத்தத்தை விட அதிகமாக இருக்கும்.

5.5.6 நீர்மத் துளியினுள் மிகையழுத்தம்

r ஆரம் கொண்ட நீர்மத் துளி ஒன்றினைக் கருதுவோம். நீர்மத் துளியின் மேற்பரப்பிலுள்ள மூலக்கூறுகள், பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாக உள்நோக்கிச் செயல்படும் ஒரு தொகுபயன் விசையைப் பெறுகின்றன. இதனால் துளியின் உட்புறத்தில் உள்ள அழுத்தம் வெளிப்புற அழுத்தத்தை விட அதிகமாக இருக்கும். நீர்மத் துளியினுள் உள்ள மிகை அழுத்தமானது பரப்பு இழுவிசையின் தொகுபயன் விசையைச் சமன்படுத்த நீர்மப் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக வெளிநோக்கிச் செயல்படும் ஒரு விசையைத் தரும். நீர்மத் துளியை இரு சமப்பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டதாகக் கற்பனை செய்யும் போது மேல் அரைக்கோளத்தின் சமநிலையைக் கருத்தில் கொண்டால், ABCD பரப்பின் மீது மிகை அழுத்தம் P-ன் காரணமாகச் செயல்படும் மேல் நோக்கிய அழுத்தம் $P\pi r^2$ ஆகும் (படம் 5.25).



படம் 5.25 நீர்மத் துளியினுள் மிகையழுத்தம்

T என்பது நீர்மத்தின் பரப்பு இழுவிசை எனில், நீர்மத் துளியின் ABCD என்னும் வட்டத்தின் பரிதி வழியாக கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசையினால் ஏற்படும் விசையின் மதிப்பு $T\,2\pi r$ – க்குச் சமமாகும்.

சமநிலையில் $P\pi r^2 = T\,2\pi r$

$$\therefore\ P = \frac{2T}{r}$$

சோப்புக் குமிழியுனுள் மிகையழுத்தம்

சோப்புக் குமிழிக்கு, காற்றுடன் தொடும் இரண்டு பரப்புகள் உள்ளன. குமிழியின் உட்புறத்தில் ஒன்றும் வெளிப்புறத்தில் மற்றொன்றும் அமைகின்றன. எனவே, பரப்பு இழுவிசையால் ஏற்படும் விசை $= 2 \times 2\pi rT$

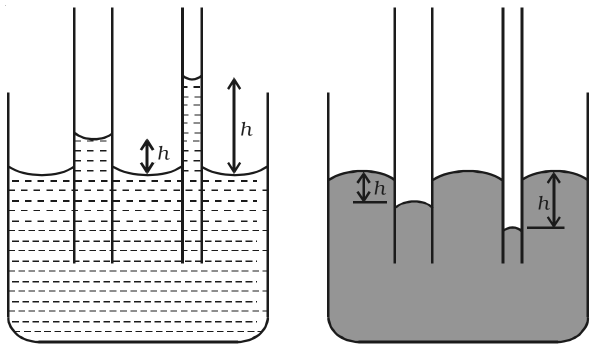
$\therefore$சமநிலையில் $P\pi r^2 = 2 \times 2\pi rT$

அதாவது $P = \frac{4T}{r}$

ஆகவே, நீர்மத் துளி ஒன்றினுள் உள்ள மிகை அழுத்தம் அதன் ஆரத்திற்கு எதிர்த்தகவில் இருக்கும். அதாவது $P \propto \frac{1}{r}$ எனவே, மிகச் சிறிய குமிழியுனுள் அழுத்தம் அதிகம். இதன் காரணமாக, பலூனை ஊதி பெரியதாக்க, முதலில் அதிகமாக காற்றை ஊத வேண்டியுள்ளது. பலூன் விரிவடைந்தால், அதை மேலும் விரிவடையச் செய்ய சிறிது அழுத்தம் போதுமானது.

5.5.7 நுண்புழை நுழைவு (Capillarity)

பரப்பு இழுவிசையெனும் பண்பானது, நுண்புழை நுழைவு நிகழ்வை ஏற்படுத்துகிறது. நுண்புழைக் குழாயை நீரில் அமிழ்த்தும்போது நீரானது குழாயினுள் மேல்நோக்கி ஏறுகிறது. குழாயில் நீரின் மட்டம், வெளியில் உள்ள மட்டத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும் (நுண்புழை ஏற்றம்). நுண்புழைக் குழாயை பாதரசத்தில் அமிழ்த்தினால், பாதரசமும் குழாயினுள் மேல்நோக்கி ஏறும். ஆனால், குழாயில் பாதரசத்தின் மட்டம், வெளியிலுள்ள மட்டத்தை விடக் குறைவாக இருக்கும் (நுண்புழை இறக்கம்).



படம் 5.26 **நுண்புழையேற்றம்**

நுண்புழைக் குழாயில் நீர்மம் நுழைவதை நுண்புழை நுழைவு (capillarity) என்கிறோம். படம் 5.26-ல் காட்டப்பட்ட h என்ற அளவு நுண்புழையேற்றத்தை (நீரில்) அல்லது நுண்புழை இறக்கத்தை (பாதரசத்தில்) குறிக்கிறது.

நுண்புழையேற்றத்தின் எடுத்துக்காட்டுகள்

(i) உறிஞ்சு தாளானது மையை நுண்புழை நுழைவின் காரணமாக உறிஞ்சுகிறது. தாளில் உள்ள நுண்ணிய துவாரங்கள் நுண்புழைக் குழாய்களைப் போல் செயல்படுகின்றன.

(ii) எண்ணெயானது திரியில் உள்ள நூல்களிடையே இருக்கும் மிகச்சிறிய இடைவெளி மூலம் மேலே ஏறுகிறது.

(iii) நுண்புழை நுழைவுப் பண்பின் காரணமாக உறிஞ்சு பொருளானது (sponge) நீரை தக்கவைத்துக் கொள்கிறது.

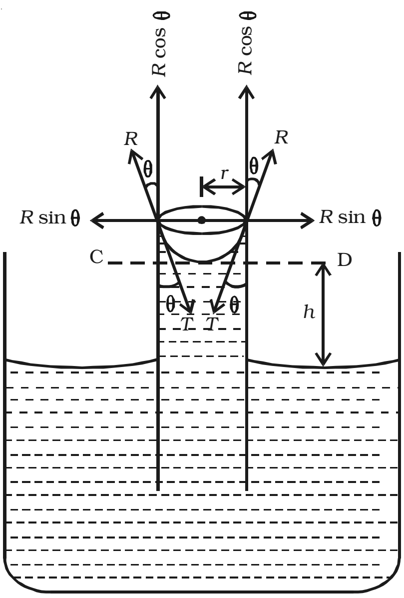
(iv) மழைக்காலங்களில் செங்கற்கள் நீரை உறிஞ்சுவதால் சுவர்கள் ஈரமாகின்றன.

5.5.8 நுண்புழை நுழைவைக் கொண்டு பரப்பு இழுவிசையை அறிதல்

சீரான துளையுள்ள நுண்புழைக்குழாய் ஒரு முகவையில் உள்ள நீரில் செங்குத்தாக அமிழ்ந்திருப்பதாகக் கருதுவோம். பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாக நீரானது நுண்புழைக்குழாயில் h உயரத்திற்கு ஏறுகிறது (படம் 5.27). நீரின் பரப்பு இழுவிசை T உள்நோக்கியும், குழாயின் எதிர்வினை R வெளிநோக்கியும் செயல்படுகின்றன. R ஆனது T–யின் எண் மதிப்பிற்குச் சமமாகவும், எதிர்த் திசையிலும் உள்ளது. எதிர்வினை R–ஐ கீழ்க்காண் இரண்டு செவ்வகக் கூறுகளாகப் பகுக்கலாம்.

(i) ஆரத்தின் வழியே வெளிநோக்கிச் செயல்படும் கிடைத்தளக் கூறு $R \sin \theta$.

(ii) மேல்நோக்கிச் செயல்படும் செங்குத்துக்கூறு $R \cos \theta$



படம் 5.27 நுண்புழை நுழைவைக் கொண்டு பரப்பு இழுவிசையை அறிதல்

குழாயின் பரிதி முழுவதும் செயல்படும் கிடைத்தளக் கூறுகள் ஒன்றையொன்று சமன் செய்கின்றன. செங்குத்துக் கூறு குழாயில் ஏறியுள்ள நீர்த் தம்பத்தின் எடையைச் சமன் செய்கிறது.

மொத்த மேல்நோக்கு விசை = $R \cos \theta \times$ குழாயின் பரிதி

அதாவது $F = 2\pi r\ R \cos \theta$

அதாவது $F = 2\pi r\ T \cos \theta$ ...(1)

$[\because\ R = T]$

இந்த மேல்நோக்கு விசையின் காரணமாகத்தான் நுண்புழையேற்றம் ஏற்படுகிறது. குழாயில் நீரானது சமநிலையில் இருப்பதனால், மேல் நோக்கு விசையும், கீழ்நோக்கி செயற்படும் நீர்த்தம்பத்தின் எடையும் சமமாகும்.

அதாவது $F = W$ ...(2)

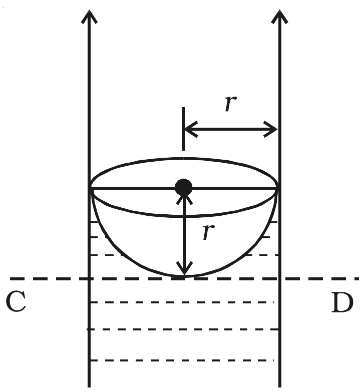
குழாயிலுள்ள நீரின் பருமனானது **(i)** குழாயில் h உயரமுள்ள நீர்த்தம்பத்தின் பருமன் மற்றும் **(ii)** CD என்ற தளத்திற்கு மேலுள்ள பிறைத்தளத்திலுள்ள நீரின் பருமன் ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத் தொகையாகும்.

உருளையான நீர்த்தம்பத்தின் பருமன் = $\pi r^2 h$

பிறைத்தளத்திலுள்ள நீரின் பருமன் = (r உயரமும், r ஆரமும் கொண்ட உருளையின் பருமன்) - (அரைக்கோளத்தின் பருமன்)

$$= (\pi r^2 \times r) - \left(\frac{2}{3}\pi r^3\right)$$

$$= \frac{1}{3}\pi r^3$$



படம் 5.28 பிறைத்தளத்தில் திரவம்

∴ குழாயிலுள்ள நீரின் மொத்த பருமன்

$$= \pi r^2 h + \frac{1}{3}\pi r^3$$

$$= \pi r^2 \left(h + \frac{r}{3}\right)$$

நீரின் அடர்த்தி ρ எனில், நுண்குழாயில் ஏறிய நீரின் எடை

$$W = \pi r^2 \left(h + \frac{r}{3}\right)\rho g \qquad \ldots(3)$$

(1) மற்றும் (3)-ஐ (2)ல் ஈடுசெய்ய

$$\pi r^2 \left(h + \frac{r}{3}\right)\rho g = 2\pi r T \cos\theta$$

$$T = \frac{\left(h + \frac{r}{3}\right) r\rho g}{2\cos\theta}$$

h–உடன் ஒப்பிடுகையில் r-ன் மதிப்பு மிகச் சிறியதெனில் $\frac{r}{3}$ புறக்கணிக்கத் தக்கதாகும்.

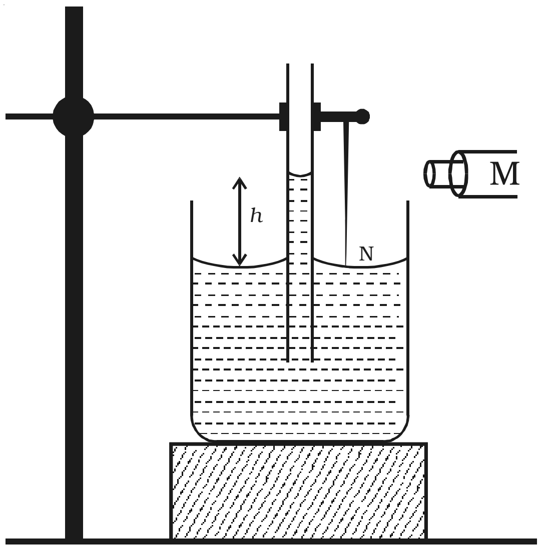
$$\therefore T = \frac{hr\rho g}{2\cos\theta}$$

நீருக்கு θ–வின் மதிப்பு சிறியது. ஆகையால் $\cos\theta \simeq 1$

$$\therefore T = \frac{hr\rho g}{2}$$

5.5.9 நீரின் பரப்பு இழுவிசையை நுண்புழையேற்ற முறையில் கணக்கிடுதல்

ஒரு தூய்மையான, சீரான புழை உடைய நுண்புழைக் குழாயை, முகவையில் உள்ள நீரினுள், குழாயின் கீழ்முனை இருக்குமாறு அமிழ்த்திருக்கும்படி செங்குத்தாகப் பொருத்த வேண்டும்.



படம் 5.29 நுண்புழையேற்ற முறையில் பரப்பு இழுவிசை காணல்

படம் 5.29-ல் காட்டியபடி ஒரு கூர்முனைக் கம்பி N–ஐயும் குழாயுடன் பொருத்த வேண்டும். கம்பியை உயர்த்தி அல்லது தாழ்த்தி, அதன் கூர்முனை நீரின் மட்டத்தைச் சற்றே தொடுமாறு செய்ய வேண்டும். நுண்புழைக் குழாயில் உள்ள நீரின் பிறைத்தளம் தெளிவாகத் தெரியுமாறு வெர்னியர் நுண்ணோக்கியைச் சரி செய்தல் வேண்டும். பிறைதளத்தின் கீழ் பாகத்தின் அளவீடு R_1-ஐ குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். நுண்ணோக்கியைக் கீழே இறக்கி கூர்முனை தெரியுமாறு சரிசெய்து அதன் அளவீடு R_2–வைக் குறிக்க வேண்டும். R_1, R_2-வின் வேறுபாடு நுண்புழையேற்றம் h-ன் மதிப்பாகும்.

நுண்ணோக்கியைக் கொண்டு குழாயின் ஆரத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். நீரின் அடர்த்தி ρ எனில், அதன் பரப்பு இழுவிசை $T = \frac{hr\rho g}{2}$. இதில் g என்பது ஈர்ப்பின் முடுக்கமாகும்.

5.5.10 பரப்பு இழுவிசையைப் பாதிக்கும் காரணிகள்

நீர்மத்திலுள்ள மாசுப் பொருள்கள் பரப்பு இழுவிசையைக் கணிசமாகப் பாதிக்கின்றன. அதிகம் கரையக்கூடிய உப்பு போன்ற பொருள் பரப்பு இழுவிசையை அதிகரிக்கின்றது. குறைவாக கரையக்கூடிய சோப்பு போன்ற பொருள் பரப்பு இழுவிசையைக் குறைக்கின்றது.

நீர்மத்தின் வெப்பநிலை அதிகமானால் பரப்பு இழுவிசை குறையும். பரப்பு இழுவிசை சுழியாகும் வெப்பநிலை, நீர்மத்தின் மாறுநிலை வெப்பநிலை (critical temperature) எனப்படும்.

5.5.11 பரப்பு இழு விசையின் பயன்பாடுகள்

(i) கடலில், புயல் வீசும் போது கப்பலைச் சுற்றிலும் எண்ணெய் ஊற்றப்படும். எண்ணெயின் பரப்பு இழுவிசை நீரின் பரப்பு இழுவிசையைக் காட்டிலும் குறைவு. அதனால் எண்ணெய் நீரின் மீது பரவத் தொடங்கும். பரப்பு இழுவிசை குறைவதனால், கடல் அலைகளின் திசைவேகமும் குறைந்து கப்பல் பாதுகாப்பாக இருக்கும்.

(ii) உயவிகள் **(lubricants),** குறைந்த பரப்பு இழுவிசை கொண்டவை. ஆகையால், அவை இயந்திரத்தின் அனைத்துப் பகுதிகளுக்கும் எளிதில் பரவும்.

(iii) நீருடன் சிறிது சலவைத்தூள் சேர்க்காமல் அழுக்கான ஆடைகளைத் துவைப்பது கடினம். நீரில் சலவைத்தூளைச் சேர்ப்பதனால், கொண்டை ஊசி போன்ற வடிவம் கொண்ட சலவைத் தூள் மூலக்கூறுகளின் ஒரு முனை நீரால் கவரப்படுகிறது. மறுமுனை அழுக்கின் மூலக்கூறுகளினால் கவரப்படுகிறது. ஆகையால் அழுக்கானது சலவைத் தூள் மூலக்கூறுகளால் சூழப்பட்டு மிதக்கின்றது. அதை எளிதில் வெளியேற்றலாம். சோப்பு அல்லது சலவைத்தூள் சேர்ந்தவுடன் நீரின் பரப்பு இழுவிசை குறைவதே இந்த வெளுக்கும் செயலுக்குக் காரணமாகும்.

(iv) கோடைக் காலங்களில் பருத்தி ஆடைகள் விரும்பி அணியப்படுகின்றன. ஏனெனில், பருத்தி ஆடைகளிலுள்ள நுண்ணியத் துவாரங்கள் வியர்வைக்கு நுண்புழைக் குழாய்களாக செயற்படுகின்றன.

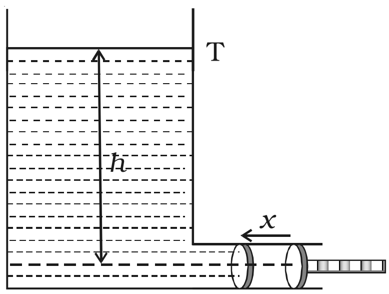
5.6 ஒரு நீர்மத்தின் மொத்த ஆற்றல்

பாயும் நீர்மம் ஒன்றிற்கு அழுத்த ஆற்றல், இயக்க ஆற்றல் மற்றும் நிலையாற்றல் உண்டு.

(i) அழுத்த ஆற்றல்

அழுத்த ஆற்றல் என்பது நீர்மம் தன் அழுத்தத்தினால் பெற்றுள்ள ஆற்றலாகும்.

ஒரு அகன்ற தொட்டி T–யில் ρ அடர்த்தி உடைய நீர்மம் ஒன்றைக் கருதுவோம். (படம் 5.30) அக்கலனின் பக்கக் குழாயில் உராய்வற்ற a குறுக்களவு உடைய பிஸ்டன் அமைப்பு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. பிஸ்டனின் அச்சுக் கோட்டிலிருந்து h உயரத்தில் நீர்மத்தின் மேற்பரப்பு இருப்பதாகக் கருதினால், பிஸ்டன் மீது நீர்ம அழுத்தம் $P = h \rho g$. பிஸ்டனை x தொலைவுக்கு உள்நோக்கி நகர்த்தும்போது தொட்டியில் தள்ளப்படும் நீர்மத்தின் பருமன் = ax



படம் 5.30 அழுத்த ஆற்றல்

தொட்டியில் தள்ளப்படும் நீர்மத்தின் நிறை = $ax \rho$

தொட்டி அகன்று இருப்பதாலும், அதனுள் தள்ளப்படும் நீர்மத்தின் அளவு மிகக் குறைவாக இருப்பதாலும், உயரம் h மற்றும் அழுத்தம் P மாறிலியாகக் கருதப்படலாம்.

பிஸ்டனை x தொலைவு தள்ளுவதற்குச் செய்யப்படும் வேலை = பிஸ்டன் மீது செயல்படும் விசை × நகர்ந்த தொலைவு

அதாவது, $W = Pax$

செய்யப்பட்ட இந்த வேலையானது $ax\rho$ நிறைகொண்ட நீர்மத்தின் அழுத்த ஆற்றலாகும்.

$\therefore$ ஓரலகு நிறையுள்ள நீர்மத்தின் அழுத்த ஆற்றல் = $\dfrac{Pax}{ax\rho} = \dfrac{P}{\rho}$

(ii) இயக்க ஆற்றல்

இயக்கத்திலுள்ள போது நீர்மம் பெற்றிருக்கும் ஆற்றல் இயக்க ஆற்றலாகும்.

m நிறையுடைய நீர்மம் v திசைவேகத்தில் இயங்கினால், அதன் இயக்க ஆற்றல் = $\dfrac{1}{2} mv^2$.

ஓரலகு நிறையுள்ள நீர்மத்தின் இயக்க ஆற்றல் = $\dfrac{\frac{1}{2}mv^2}{m} = \dfrac{v^2}{2}$

(iii) நிலை ஆற்றல்

நீர்மம், தரைமட்டத்திலிருந்து உள்ள உயரத்தைப் பொருத்து பெற்றிருக்கும் ஆற்றல் நிலையாற்றல் ஆகும்.

தரைமட்டத்திலிருந்து h உயரத்திலுள்ள நீர்மத்தின் நிறை m எனில், நீர்மத்தின் நிலையாற்றல் = mgh

ஓரலகு நிறையுள்ள நீர்மத்தின் நிலையாற்றல் = $\dfrac{mgh}{m}$ = gh

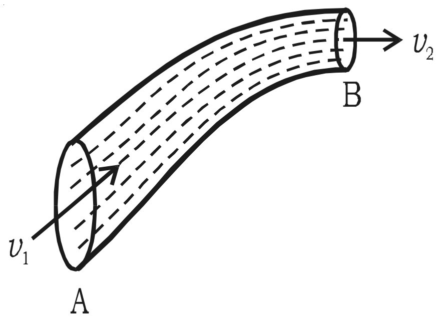
இயக்கத்திலுள்ள நீர்மத்தின் மொத்த ஆற்றல் = அழுத்த ஆற்றல் + இயக்க ஆற்றல் + நிலை ஆற்றல்.

$\therefore$ ஓரலகு நிறையுடைய இயக்கத்திலுள்ள நீர்மத்தின் மொத்த ஆற்றல்

$$= \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh$$

5.6.1 தொடர்மாறிலிச் சமன்பாடு *(Equation of continuity)*

படம் 5.31-ல் காட்டியபடி, சீரற்ற குறுக்களவு கொண்ட AB என்ற குழாயின் வழியாக பாகுநிலையற்ற வரிச்சீர் ஓட்டத்தில் நீர்மம் பாய்வதாகக் கொள்வோம்.



படம் 5.31 தொடர்மாறிலிச் சமன்பாடு

A மற்றும் B பகுதிகளில் குழாயின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பளவு முறையே a_1, a_2எனவும், நீர்மத்தின் திசைவேகம் முறையே v_1, v_2எனவும் இருக்கட்டும்.

$\therefore$ ஒரு நொடியில் A பகுதியில் பாயும் நீர்மத்தின் பருமன் = $a_1 v_1$.

நீர்மத்தின் அடர்த்தி ρ எனில், ஒரு நொடியில் A பகுதியில் பாயும் நீர்மத்தின் நிறை = $a_1 v_1 \rho$.

இதேபோல ஒரு நொடியில் B–யிலிருந்து வெளியேறும் நீர்மத்தின் நிறை = $a_2 v_2 \rho$.

நீர்மத்தின் ஓட்டம் சீராக இருப்பதனாலும், குழாயில் நீர்மத்தின் இழப்பு இல்லாததாலும், ஒரு நொடியில் A-ல் பாயும் நீர்மத்தின் நிறையானது அதே நேரத்தில் Bயிலிருந்து வெளியேறும் நீர்மத்தின் நிறைக்குச் சமமாகும்.

அதாவது $a_1 v_1 \rho = a_2 v_2 \rho$

அல்லது $a_1 v_1 = a_2 v_2$

அதாவது av = மாறிலி

இதுவே தொடர்மாறிலிச் சமன்பாடு எனப்படும். இச்சமன்பாட்டிலிருந்து $v \; \alpha \; \frac{1}{a}$ என அறியலாம். அதாவது குழாயின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு அதிகமாக இருப்பின், ஓட்டத்தின் திசைவேகம் குறைவாக இருக்கும்.

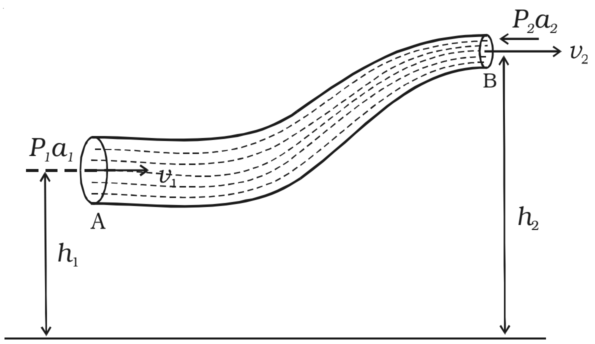
5.6.2 பெர்னௌலியின் தேற்றம் *(Bernoulli's theorem)*

ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை அடிப்படையாகக் கொண்டு நீர்மத்தின் வரிச்சீர் ஓட்டத்திற்கான தேற்றத்தை டேனியல் பெர்னௌலி (Daniel Bernoulli) என்பவர் 1738-ம் ஆண்டு வகுத்தார். பெர்னௌலியின் தேற்றத்தின்படி, அமுக்க இயலாத, பாகுநிலையற்ற, ஓரலகு நிறையுள்ள நீர்மத்தின் வரிச்சீர் ஓட்டத்தில், அழுத்த ஆற்றல், இயக்க ஆற்றல் மற்றும் நிலை ஆற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகை மாறாததாக இருக்கும்.

அதாவது $\frac{P}{\rho}+\frac{v^2}{2}+ gh =$ மாறிலியாகும்.

இச்சமன்பாடு பெர்னௌலியின் சமன்பாடாகும்.

சீரற்ற குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு கொண்ட AB என்ற குழாயின் வழியாக ρ அடர்த்தி உடைய நீர்மம் வரிச்சீர் ஓட்டத்தில் இயங்குவதாகக் கருதுவோம்.



படம் 5.32 பெர்னௌலியின் தேற்றம்

A மற்றும் B–யில் அழுத்தங்கள் முறையே P_1, P_2 எனவும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவுகள் முறையே a_1 மற்றும் a_2 எனவும் கொள்வோம் A–யின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக v_1 திசைவேகத்தில் நீர்மம் பாய்வதாகவும், B–யின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக v_2 திசைவேகத்தில் வெளியேறுவதாகவும் கருதுவோம். B–யின் உயரம் A–யின் உயரத்தை விட அதிகமாதலால், A–யிலிருந்து நீர்மம், B–க்கு பாய்ந்து செல்ல ஈர்ப்பின் விசைக்கெதிராக முடுக்கப்படுகிறது. ஆகையால் P_2–ஐ விட P_1 அதிகமாக இருக்கும். இது புறவிசையொன்றின் மூலம் செய்யப்படுகிறது.

தொடர்மாறிலிச் சமன்பாட்டின்படி, ஒரு நொடியில் குழாயின் எந்தவொரு பகுதியின் வழியாகவும் கடந்து செல்லும் நீர்மத்தின் நிறை, $a_1v_1\rho = a_2v_2\rho = m$ ஆகும்.

அல்லது $a_1v_1 = a_2v_2 = \frac{m}{\rho} = V$ ...(1)

$a_1 > a_2$ என்பதனால், $v_1 < v_2$

A–யில் நீர்மத்தின் மீது செயல்படும் விசை = P_1a_1

B–யில் நீர்மத்தின் மீது செயல்படும் விசை = $P_2\ a_2$

A-ல் ஒரு நொடியில் நீர்மத்தின் மீது செய்யப்படும் வேலை = $P_1a_1 \times v_1 = P_1V$

B–ல் நீர்மத்தால் செய்யப்படும் வேலை = $P_2 a_2 \times v_2 = P_2 V$

$\therefore$ நீர்மத்தை A–யிலிருந்து B–க்குக் கொண்டு செல்ல அழுத்த ஆற்றலினால் ஒரு நொடியில் செய்யப்பட்ட நிகர வேலை

$$= P_1 V - P_2 V \qquad \ldots(2)$$

ஒரு நொடியில் A–யிலிருந்து B–க்குப் பாயும் நீர்மத்தின் எடை m எனில், ஒரு நொடியில் அதன் நிலையாற்றலில் அதிகரிப்பு = $mgh_2 - mgh_1$

ஒரு நொடியில் நீர்மத்தின் இயக்க ஆற்றலில் அதிகரிப்பு = $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

வேலை - ஆற்றல் கோட்பாட்டின்படி, அழுத்த ஆற்றலால் ஒரு நொடியில் செய்யப்படும் வேலை = ஒரு நொடியில் நிலையாற்றலின் அதிகரிப்பு + ஒரு நொடியில் இயக்க ஆற்றலின் அதிகரிப்பு

அதாவது $$P_1 V - P_2 V = (mgh_2 - mgh_1) + \left(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2\right)$$

$$P_1 V + mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = P_2 V + mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$\frac{P_1 V}{m} + gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = \frac{P_2 V}{m} + gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2$$

$$\frac{P_1}{\rho} + gh_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = \frac{P_2}{\rho} + gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2 \qquad \left(\because \rho = \frac{m}{V}\right)$$

அல்லது $$\frac{P}{\rho} + gh + \frac{1}{2}v^2 = \text{மாறிலி.} \qquad \ldots(3)$$

ஆகவே, ஓரலகு நிறை கொண்ட நீர்மத்தின் மொத்த ஆற்றல் மாறாமல் இருக்கும்.

சமன்பாடு (3)–ஐ g–யால் வகுக்க

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + h = \text{மாறிலியாகும்.}$$

இச்சமன்பாட்டின், ஒவ்வொரு தொகுதியின் பரிமாணமும் நீளத்தின் பரிமாணத்தைக் கொண்டுள்ளதால் ஒவ்வொன்றும் முகடு எனப்படும். $\frac{P}{\rho g}$ –யை அழுத்த முகடு எனவும், h-ஐ ஈர்ப்பின் முகடு எனவும், $\frac{v^2}{2g}$ –யை திசைவேக முகடு எனவும் கூறுகிறோம்.

சிறப்பு நேர்வு

கிடைமட்டமான குழாயின் (horizontal tube) வழியாக நீர்மம் பாய்ந்தால், அதாவது $h_1 = h_2$ என்பதால் நீர்மத்தின் நிலையாற்றல் அதிகரிக்காது. அதாவது, ஈர்ப்பின் முகடு சுழியாகும்.

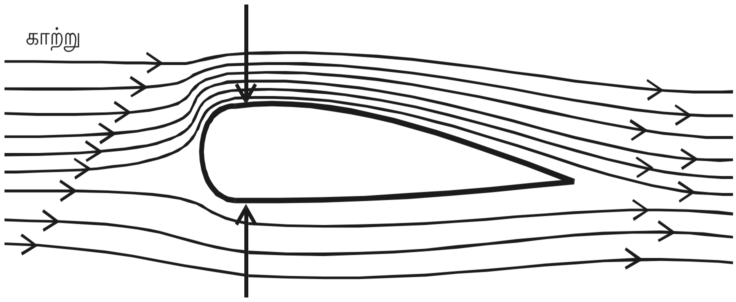
சமன்பாடு (3)–லிருந்து $\frac{P}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 =$ மாறிலி.

இது, பெர்னௌலி சமன்பாட்டின் மற்றொரு வடிவமாகும்.

5.6.3 பெர்னௌலித் தேற்றத்தின் பயன்பாடுகள்

(i) வானூர்தியின் இறக்கையில் அழுத்தம்

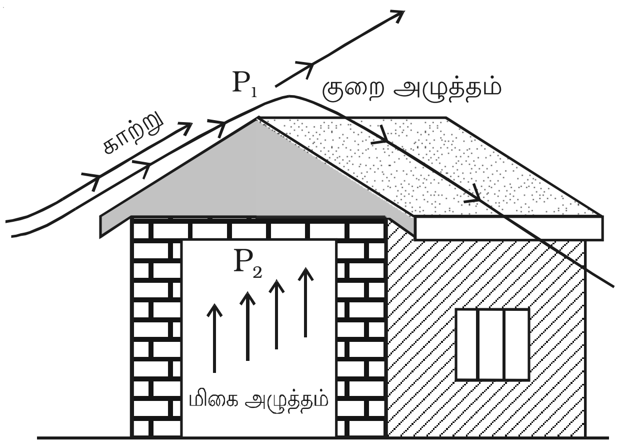
காற்றின் வரிச்சீர் ஓட்டத்துடன் வானூர்தியின் இறக்கையின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் படம் 5.33–ல் காட்டப்பட்டுள்ளது காற்றோட்டத்துடன் இறக்கையின் திசையமைப்பானது, இறக்கையின் மேல் பகுதியில் காற்றோட்ட விசைக்கோடுகளை (flow lines) நெருக்கமடையச் செய்கின்றது. இதன் காரணமாக இறக்கையின் கீழ் பகுதியில் செயல்படும் மேல்நோக்கு விசையானது அதன் மேல் பகுதியில் செயல்படும் கீழ்நோக்கு விசையைவிட அதிகம். ஆகையால் இறக்கையின் மீது நிகர மேல்நோக்கு விசை செயல்படுகிறது.



படம் 5.33 ***வானூர்தியின் இறக்கையில் அழுத்தம்***

(ii) சூறைக்காற்றில் கூரை தூக்கி எறியப்படுதல்

புயல் அல்லது சூறைக்காற்று வீசும்போது, மற்ற பகுதிகளுக்கு சேதம் ஏற்படா வண்ணம் குடிசைகளின் கூரைகள் மற்றும் மெல்லிய தகட்டாலான கூரைகள் தூக்கி எறியப்படும். வீசும் காற்றானது கூரைக்கு மேலே P_1 என்ற குறைந்த அழுத்தத்தை

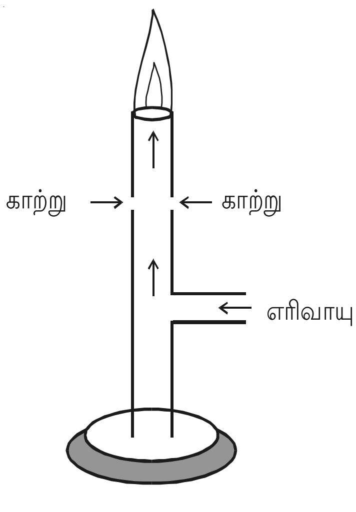


படம் 5.34 **கூரை தூக்கி எறியப்படுதல்**

ஏற்படுத்துகிறது. கூரைக்குக் கீழே உள்ள அழுத்தம் (P_2), P_1-ஐ விட அதிகமாக உள்ளது. இந்த அழுத்த வேறுபாட்டினால், கூரை மேலெழும்பி காற்றுடன் சேர்ந்து தூக்கி எறியப்படுகிறது.

(iii) புன்சன் எரிகலன்

புன்சன் எரிகலனில், எரிவாயு நுண் துளையின் வழியாக அதிக திசைவேகத்துடன் வெளிவருகிறது. இதன் காரணமாக தண்டில் (குழாயில்) உள்ள அழுத்தம் குறைகிறது. எனவே வெளிக்காற்றானது வேகமாக எரிகலனுள் நுழைகிறது.



படம் 5.35 **புன்சன் எரிகலன்**

(iv) இணையாக இயங்கும் இரண்டு படகுகள்

இரண்டு படகுகள் ஒரே திசையில் சிறிது இடைவெளியில் செல்லும்போது படகுகளுக்கிடையே உள்ள நீரின் திசைவேகம் அவற்றின் வெளிப் புறமுள்ள நீரின் திசைவேகத்தைக் காட்டிலும் அதிகரிக்கும். இதன் காரணமாக, இரண்டு படகுகளின் இடையே உள்ள அழுத்தம் குறைகிறது. வெளிப் புறத்தில் உள்ள அதிக அழுத்தம் படகுகளை உள் நோக்கித் தள்ளும். இதனால் படகுகள் ஒன்றை ஒன்று நெருங்கி, மோதிக்கொள்ளக்கூடும்.

தீர்க்கப்பட்ட கணக்குகள்

5.1 ஒரு முனை பொருத்தப்பட்ட **4 m** நீளமும், 3 **mm** விட்டமும் கொண்ட கம்பியின் மறுமுனையில் **50 kg** நிறை தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. கம்பியில் எவ்வளவு நீட்சி ஏற்படும்? கம்பிப் பொருளின் $q = 7 \times 10^{10}\ N\ m^{-2}$ என கொள்க.

தகவல் : $l = 4\ m;\ d = 3\ mm = 3 \times 10^{-3}\ m;\ m = 50\ kg\ ;$

$q = 7 \times 10^{10}\ N\ m^{-2}$

தீர்வு : $$q = \frac{Fl}{Adl}$$

$$\therefore\ dl = \frac{Fl}{\pi r^2 q} = \frac{50 \times 9.8 \times 4}{3.14 \times (1.5 \times 10^{-3})^2 \times 7 \times 10^{10}}$$

$$= 3.96 \times 10^{-3}\ m$$

5.2 கடலுக்குள் **1 km** ஆழத்திற்கு கோளம் ஒன்றைக் கொண்டு சென்றால், அதன் பருமன் 0.01% குறைகிறது. கடல் நீரின் அடர்த்தி $10^3\ kg\ m^{-3}$ எனில் கோளப் பொருளின் பருமக் குணகத்தைக் கணக்கிடுக.

தகவல் : $dV = 0.01\%$

அதாவது, $\frac{dV}{V} = \frac{0.01}{100}$; $h = 1\ km$; $\rho = 10^3\ kg\ m^{-3}$

தீர்வு : $dP = 10^3 \times 10^3 \times 9.8 = 9.8 \times 10^6$

$$\therefore k = \frac{dP}{dV/V} = \frac{9.8 \times 10^6 \times 100}{0.01}$$

$$= 9.8 \times 10^{10}\ N\ m^{-2}$$

5.3 நீரியல் வாகனத்தூக்கி ஒன்று **3000 kg** பெரும நிறை கொண்ட கார்களைத் தூக்கவல்லதாக வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது. சுமையைத் தாங்கும் பிஸ்டனின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு $425 \times 10^{-4}\ m^2$ எனில் அது தாங்கக்கூடிய பெரும அழுத்தத்தின் மதிப்பென்ன?

தகவல் : $m = 3000\ kg,\ A = 425 \times 10^{-4}\ m^2$

தீர்வு : *பிஸ்டன் மீது அழுத்தம்* $= \frac{\text{காரின் எடை}}{\text{பிஸ்டனின் பரப்பு}} = \frac{mg}{A}$

பிஸ்டன் மீது அழுத்தம் $= \frac{3000 \times 9.8}{425 \times 10^{-4}}$

$= 6.92 \times 10^{5}\ N\ m^{-2}$

5.4 *0.1 m பக்கம் கொண்ட சதுரத் தட்டொன்று 0.1 m* s^{-1} *திசை வேகத்துடன் மற்றொரு தட்டுக்கு இணையாக இயங்குகிறது. இரண்டு தட்டுகளும் நீரில் மூழ்கி உள்ளன. பாகுநிலை விசை* $2 \times 10^{-3}\ N$ *நீரின் பாகியல் எண்* $10^{-3}\ N\ s\ m^{-2}$ *எனில் அவற்றிற்கிடையே உள்ள இடைவெளியைக் கணக்கிடுக.*

தகவல் : *தட்டின் பரப்பளவு* $A = 0.1 \times 0.1 = 0.01\ m^{2}$

பாகுநிலை விசை $F = 2 \times 10^{-3}\ N$

திசைவேகம் $dv = 0.1\ m\ s^{-1}$

பாகியல் எண் $\eta = 10^{-3}\ N\ s\ m^{-2}$

தீர்வு : *இடைவெளி* $dx = \frac{\eta A dv}{F}$

$= \frac{10^{-3} \times 0.01 \times 0.1}{2 \times 10^{-3}}$

$= 5 \times 10^{-4}\ m$

5.5 10^{-2} *m ஆரம் கொண்ட குழாயின் வழியே பாயும் காற்றின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக. காற்றின்* $\rho = 1.3\ kg\ m^{-3}$ *மற்றும்* $\eta = 187 \times 10^{-7}\ N\ s\ m^{-2}$.

தகவல் : $r = 10^{-2}\ m$; $\rho = 1.3\ kg\ m^{-3}$; $\eta = 187 \times 10^{-7}\ N\ s\ m^{-2}$;

$N_R = 2000$

தீர்வு : *திசைவேகம்* $v = \frac{N_R \eta}{\rho D}$

$= \frac{2000 \times 187 \times 10^{-7}}{1.3 \times 2 \times 10^{-2}}$

$= 1.44\ m\ s^{-1}$

5.6 உயரமான உருளையில் உள்ள நீரில் மண் துகள்கள் கலக்கப்படுகின்றன. உருளையிலுள்ள நீரின் ஆழம் 0.3 m எனில், 40 நிமிடங்களுக்குப் பிறகு மிதக்கும் மிகப்பெரிய மண்துகளின் அளவென்ன? மண்ணின் அடர்த்தி = $2600\ kg\ m^{-3}$ எனவும், நீரின் பாகியல் எண் = $10^{-3}\ N\ s\ m^{-2}$ எனவும் கொள்க.

தகவல் : $s = 0.3\ m$, t = 40 நிமிடங்கள் = 40×60 நொடிகள், $\rho = 2600\ kg\ m^{-3}$

தீர்வு : மண் துகள்கள் கோள வடிவம் உடையவைகளாகவும் பல தரப்பட்ட அளவுகளில் உள்ளதாகவும் கொள்வோம். மிகப்பெரிய துகளின் ஆரம் r என்க.

முற்றுத் திசைவேகம் $\upsilon = \dfrac{0.3}{40 \times 60} = 1.25 \times 10^{-4}\ m\ s^{-1}$

ஆரம் $r = \sqrt{\dfrac{9\eta\upsilon}{2(\rho - \sigma)g}}$

$= \sqrt{\dfrac{9 \times 10^{-3} \times 1.25 \times 10^{-4}}{2\,(2600 - 1000)\,9.8}}$

$= 5.989 \times 10^{-6}\ m$

5.7 0.03 m ஆரம் உடைய வட்ட வடிவக் கம்பியானது நீர்மம் ஒன்றின் மேற்பரப்பில் வைக்கப்பட்டு மேலே இழுக்கப்படுகிறது. அதை இழுக்க, நீர்மத்தின் படலம் உடைவதற்கான விசையை விட 0.003 kg wt அதிகமாக விசை தேவைப்படுகிறது. நீர்மத்தின் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு : அதிகப்படியான 0.003 kg wt விசை F என்பது, பரப்பு இழுவிசையின் மதிப்பாகும்.

∴ பரப்பு இழுவிசை $F = T \times$ நீர்மத்தோடு தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் வளையத்தின் நீளம்

அதாவது $F = T \times 2 \times 2\pi r = 4\pi Tr$

அதாவது $4\pi Tr = F$

$\therefore \quad 4\pi Tr = 0.003 \times 9.81$

அல்லது $T = \dfrac{0.003 \times 9.81}{4 \times 3.14 \times 0.03}$

$= 0.078\ N\ m^{-1}$

5.8 பாதரசத்தின் இறக்கம் 2.219 mm உள்ள ஒரு நுண்புழைக் குழாயின் விட்டத்தைக் கணக்கிடுக. பாதரசத்தின் T–யின் மதிப்பு 0.54 N m^{-1}, சேர்கோணம் 140^o மற்றும் பாதரசத்தின் அடர்த்தி 13600 kg m^{-3} என கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

தகவல் : $h = -2.219 \times 10^{-3}$ m; $T = 0.54$ N m^{-1} ; $\theta = 140^o$;

$\rho = 13600$ kg m^{-3}

தீர்வு : $hr\rho g = 2T \cos \theta$

$$\therefore r = \frac{2T \cos \theta}{h\rho g}$$

$$= \frac{2 \times 0.54 \times \cos 140^o}{(-2.219 \times 10^{-3}) \times 13600 \times 9.8}$$

$$= 2.79 \times 10^{-3} \ m$$

விட்டம் $= 2r = 2 \times 2.79 \times 10^{-3}$ m = 5.58 mm

5.9 1×10^{-3} m ஆரம் கொண்ட ஓர் நீர்த்துளியை, ஒரே அளவுடைய ஓராயிரம் மில்லியன் நீர்த்திவிலைகளாக பிரிப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலைக் கணக்கிடுக. நீரின் பரப்பு இழுவிசை = 0.072 N m^{-1}

தகவல் : பெரிய துளியின் ஆரம் $R = 1 \times 10^{-3}$ m

திவலைகளின் எண்ணிக்கை $n = 10^3 \times 10^6 = 10^9$; $T = 0.072$ N m^{-1}

தீர்வு : நீர்த்திவலையின் ஆரம் r என்க.

10^9 திவிலைகளின் பருமன் = பெரிய துளியின் பருமன்

$$10^9 \times \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$10^9 r^3 = R^3 = (10^{-3})^3$$

$$(10^3 r)^3 = (10^{-3})^3$$

$$r = \frac{10^{-3}}{10^3} = 10^{-6} \ m$$

மேற்பரப்பளவின் அதிகரிப்பு $ds = (10^9 \times 4\pi r^2) - 4\pi R^2$

அதாவது $ds = 4\pi\ [\ 10^9 \times (10^{-6})^2 - (10^{-3})^2\ ]$

$= 4\pi\ [10^{-3} - 10^{-6}]\ m^2$

$\therefore\ ds = 0.01254\ m^2$

செய்யப்பட்ட வேலை $W = T.ds$

$W = 0.072 \times 0.01254$

$= 9.034 \times 10^{-4}\ J$

5.10 இதயத்திலிருந்து, இரத்த ஓட்டம் தலைக்குச் செல்வதற்குத் (செங்குத்தாக தொலைவு 0.5 m) தேவையான குறைந்தபட்ச அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக. இரத்தத்தின் அடர்த்தி = $1040\ kg\ m^{-3}$. உராய்வு விசையைத் தவிர்த்திடுக.

தகவல் : $h_2 - h_1 = 0.5\ m$

$\rho = 1040\ kg\ m^{-3}$

$P_1 - P_2 = ?$

தீர்வு : பெர்னௌலியின் தேற்றத்தின்படி,

$$P_1 - P_2 = \rho g(h_2 - h_1) + \frac{1}{2}\rho\ (v_2^2 - v_1^2)$$

$v_2 = v_1$ எனில், $P_1 - P_2 = \rho g\ (h_2 - h_1)$

$= 1040 \times 9.8\ (0.5)$

$= 5.096 \times 10^3\ N\ m^{-2}$

தன் மதிப்பீடு

(இந்தத் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள வினாக்களும் கணக்குகளும் மாதிரிகளே. இவற்றைப்போன்று, பாடப் பொருளிலிருந்து எந்தவொரு வினாவையும் அல்லது கணக்கினையும் வடிவமைக்கலாம். மாணவ, மாணவியர் தன்மதிப்பீட்டுப் பகுதியிலிருந்து மட்டுமல்லாமல், பாடப் பொருளிலிருந்தும் வடிவமைக்கப்படக்கூடிய வினாக்களுக்கும் கணக்குகளுக்கும் விடையளிக்க ஆயத்தம் செய்து கொள்ள வேண்டும்.)

5.1 *யங் குணகம் காணும் சோதனை ஒன்றில், கம்பியின் நீளமும் தொங்கவிடப்பட்ட நிறையும் இரு மடங்கு அதிகரிக்கப்பட்டால், கம்பிப் பொருளின் யங் குணகம்*

(a) *மாறாமல் இருக்கும்* (b) *இரு மடங்கு ஆகும்*

(c) *நான்கு மடங்கு ஆகும்* (d) *பதினாறு மடங்கு ஆகும்*

5.2 *முழுமையான திண்மப் பொருளொன்றின் யங் குணகத்தின் மதிப்பு*

(a) *சுழி* (b) *ஈறிலி*

(c) *1* (d) *−1*

5.3 *ஒரே பொருளால் செய்யப்பட்ட ஒத்த ஆரம் கொண்ட இரு கம்பிகளின் நீளத்தின் தகவு 1 : 2. இவை ஒரே மாதிரியான விசைகளால் நீட்டப்பட்டால், கம்பிகளில் ஏற்படும் திரிபின் தகவு*

(a) *1 : 4* (b) *1 : 2*

(c) *2 : 1* (d) *1 : 1*

5.4 *ஒரு நீர்மத்தின் வெப்பநிலை அதிகரித்தால், அதன் பரப்பு இழுவிசை*

(a) *குறையும்* (b) *அதிகரிக்கும்*

(c) *மாறாது* (d) *பாகியல் எண்ணுக்குச் சமம்*

5.5 *2 : 1 என்ற தகவில் விட்டம் உடைய இரண்டு சோப்புக் குமிழிகளில் மிகை அழுத்தத்தின் விகிதம்*

(a) *1 : 4* (b) *2 : 1*

(c) *1 : 2* (d) *4 : 1*

5.6 *l நீளம் கொண்ட சதுர வடிவச் சட்டமானது சோப்புக் கரைசலில் அமிழ்த்தப்படுகிறது. சட்டத்தை வெளியில் எடுக்கும்போது சோப்புப் படலம் அதில் உருவாகிறது. சோப்பு கரைசலின் பரப்பு இழுவிசையால் சட்டத்தில் செயற்படும் விசை*

(a) 8 Tl (b) 4 Tl

(c) 10 Tl (d) 12 Tl

5.7 விண்ணிலிருந்து விழும் மழைத்துளிகள் நம்மை வேகமாகத் தாக்குவதோ அல்லது தரையில் துவாரங்களை உண்டாக்குவதோ இல்லை. ஏனெனில் அவை

(a) மாறா முடுக்கத்துடன் விழுகின்றன

(b) மாறும் முடுக்கத்துடன் விழுகின்றன

(c) மாறும் வேகத்துடன் விழுகின்றன

(d) மாறா திசைவேகத்தில் விழுகின்றன

5.8 50 km உயரத்திலிருந்து, 1 : 2 என்ற தகவில் ஆரம் கொண்ட இரண்டு ஆலங்கட்டி மழைத்துளிகள் கீழே விழுகின்றன. அவைகளின் முற்றுத் திசைவேகத்தின் தகவு

(a) 1 : 9 (b) 9 : 1

(c) 4 : 1 (d) 1 : 4

5.9 $0.2\ m^3\ s^{-1}$ என்ற வீதத்தில் நீரானது சீரற்ற குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு கொண்ட கிடைமட்டத்திலுள்ள குழாயின் வழியே பாய்கிறது. குழாயின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு $0.01\ m^2$ உள்ள ஒரு புள்ளியில் நீரின் திசைவேகத்தின் மதிப்பு

(a) $2\ ms^{-1}$ (b) $20\ ms^{-1}$

(c) $200\ ms^{-1}$ (d) $0.2\ ms^{-1}$

5.10 அதிக திசைவேகத்தோடு புவியின் வளி மண்டலத்தில் நுழையும் பொருளொன்று தீப்பிடித்து எரிவதன் காரணம்

(a) காற்றின் பாகுநிலை ஆகும்

(b) வளிமண்டலத்தின் உயர் வெப்பத் தன்மை ஆகும்

(c) குறிப்பிட்ட வளிமங்களின் அழுத்தமாகும்

(d) g-ன் அதிக மதிப்பாகும்

5.11 வரையறு : (a) மீட்சித் தன்மையுள்ள பொருள் (b) மீட்சித் தன்மையற்ற பொருள் (c) தகைவு (d) திரிபு (e) மீட்சி எல்லை (f) மீள்விசை

5.12 ஹுக் விதியைத் தருக.

5.13 மூவகை மீட்சிக் குணகங்களை விளக்குக.

5.14 சியர்ள் சோதனையை விவரி.

5.15 இரப்பர் அல்லது எஃகு - எதற்கு மீட்சித் தன்மை அதிகம்? ஆதாரத்துடன் விளக்குக.

5.16 ஈர்ப்பின் விளைவைக் கருத்தில் கொள்ளாமல், பாஸ்கல் விதியைக் கூறி அதை நிறுவுக.

5.17 புவிஈர்ப்பின் விசையைக் கருத்தில் கொண்டு பாஸ்கல் விதியை விளக்குக.

5.18 நீரியல் தடுப்பியின் கோட்பாடு, அமைப்பு மற்றும் வேலை செய்யும் முறை ஆகியவற்றை விளக்குக.

5.19 ரெனால்டு எண் என்றால் என்ன?

5.20 நீர்மத்தின் மாறு நிலைத் திசைவேகம் என்றால் என்ன?

5.21 வானூர்திகளும் கார்களும் கூர்மையான, வரிச்சீரோட்ட இயக்கத்தை ஏற்படுத்தும் வடிவம் கொண்டுள்ளன. ஏன்?

5.22 நீர்மத்தின் பாகுநிலை எண்ணைக் காண சோதனை ஒன்றை விவரி.

5.23 முற்றுத் திசைவேகம் என்றால் என்ன?

5.24 ஸ்டோக் விதியை விளக்குக.

5.25 பாகுநிலையுள்ள நீர்மத்தில் கீழ்நோக்கிச் செல்லும் ஒரு சிறிய குண்டின் முற்றுத் திசைவேகத்திற்கான சமன்பாட்டைத் தருவி.

5.26 ஓரினக் கவர்ச்சி விசை மற்றும் வேறினக் கவர்ச்சி விசையை வரையறு. எடுத்துக்காட்டுகள் தருக.

5.27 வரையறு : (1) மூலக்கூறின் வீச்சு (2) மூலக்கூறின் கவர்ச்சிப்புலம் (3) பரப்பு இழுவிசை

5.28 மூலக்கூறு கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் பரப்பு இழுவிசையை விளக்குக.

5.29 பரப்பு இழுவிசை மற்றும் பரப்பு ஆற்றல் இடையேயான தொடர்பைத் தருவி.

5.30 பரப்பு இழுவிசையின் பயன்பாடுகள் நான்கினைத் தருக.

5.31 நீரின் மேற்பரப்பில் பூச்சிகள் எவ்வாறு ஓடுகின்றன?

5.32 துணிகளைத் துவைப்பதற்குத் தண்ணீரைக் காட்டிலும் வெந்நீர் பயன்படுத்தப்படுவது ஏன்?

5.33 ஓரலகு நிறை கொண்ட பாயும் நீர்மத்தின் மொத்த ஆற்றலுக்கான கோவையைத் தருவி.

5.34 பெர்னௌலியின் தேற்றத்தைக் கூறி நிறுவுக.

5.35 மனிதர்களுக்கு, இரத்த அழுத்தம், மூளையில் இருப்பதை விட கால்களில் அதிகம். ஏன்?

5.36 கொள்கலன் (tin) ஒன்றிலிருந்து எண்ணெயை ஊற்ற இரண்டு துளைகள் இடப்படுகின்றன. ஏன்?

5.37 வேகமாக சென்று கொண்டிருக்கும் இரயில் வண்டியின் அருகில் நிற்கும் ஒருவர் வண்டியை நோக்கி விழக்கூடிய அபாயம் உண்டு. காரணம் கூறுக.

5.38 சிறிய குமிழி நீர்மத்தில் மெல்ல மேல்நோக்கி எழும்பும். ஆனால் பெரிய குமிழியானது வேகமாக மேல்நோக்கி எழும்பும் ஏன்?

கணக்குகள்

5.39 2.5 mm விட்டம் கொண்ட ஒரு கம்பியானது 980 N விசையால் நீட்டப்படுகிறது. கம்பியின் யங் குணகம் 12.5×10^{10} N m^{-2} எனில் ,கம்பியின் அதிகரித்த நீளத்தை விழுக்காடில் கணக்கிடுக.

5.40 ஒரே பொருளால் இரண்டு கம்பிகள் செய்யப்படுகின்றன. முதல் கம்பியின் நீளம் இரண்டாம் கம்பியின் நீளத்தைப்போல் பாதியும், அதன் விட்டம் இரண்டாம் கம்பியின் விட்டத்தைப்போல் இருமடங்கும் ஆகும். சம எடைகள் இரண்டு கம்பிகளிலும் பொருத்தப்பட்டால், அவற்றின் நீட்சியின் தகவைக் கணக்கிடுக.

5.41 ஒரு பித்தளைத் தண்டின் விட்டம் 4 mm ஆகும். அதன் நீளத்தில் 0.25% நீட்சியடையச் செய்யப்பட்டால், அதன் தகைவு மற்றும் திரிபைக் கணக்கிடுக. அதில் செயல்படும் விசையின் மதிப்பு யாது? பித்தளையின் $q = 9.2 \times 10^{10}$ N m^{-2} எனக் கொள்க.

5.42 40 mm பக்கம் கொண்ட தாமிரத்தாலான திண்ம கன சதுரத்தில் 2×10^{7} Pa அழுத்தம் செயல்படுவதனால் அதன் பருமனில் ஏற்படும் மாற்றம் என்ன? தாமிரத்தின் பருமக்குணகம் 1.25×10^{11} N m^{-2}. ஆகும்.

5.43 நீரியல் தூக்கி ஒன்றில், பிஸ்டன் P_2 ன் விட்டம் 50 cm மற்றும் பிஸ்டன் P_1 ன் விட்டம் 10 cm. எனில், P_1 மீது 1 N விசை செயற்பட்டால் P_2 ன் மீதுள்ள விசையின் மதிப்பு என்ன?

5.44 1 m நீளமும் 10^{-2} m ஆரமும் உடைய குழாயின் வழியே பாயும் நீரின் மாறா அழுத்தம் 0.2 m நீர் உயரம் எனில் 10 நிமிடங்களில் பாயும் நீரின் நிறையைக் கணக்கிடுக. நீரின் பாகியல் எண் = 9×10^{-4} N s m^{-2}, g = 9.8 m s^{-2}எனக் கொள்க.

5.45 10^3 Pa அழுத்தத்தினால் 0.1 m நீளமும் 10^{-3} m ஆரமும் கொண்ட குழாய் ஒன்றில் நீர்மம் பாய்கிறது. நீர்மத்தின் பாகியல் எண் 1.25×10^{-3} N s m^{-2} எனில், நீரின் பாயும் வீதம் மற்றும் குழாயிலிருந்து நீர் வெளியேறும் வேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

5.46 உருளையான குழாய்களின் ரெனால்டு எண் ஏறத்தாழ 2000 ஆகும். குழாயின் விட்டம் 2 cm என்றால், அதில் பாயும் நீரின் திசைவேகத்தை கணக்கிடுக. நீரின் $\eta = 10^{-3}$ N s m^{-2}.

5.47 ப்வாய்செய் பரிசோதனை ஒன்றில் கீழ்க்கண்டவை குறித்துக் கொள்ளப்பட்டன.

(a) ஒரு நிமிடத்தில் வெளியேறும் நீர்மத்தின் பருமன் = 15×10^{-6} m^3

(b) நீர்மத்தின் முகடு = 0.30 m

(c) குழாயின் நீளம் = 0.25 m

(d) விட்டம் = 2×10^{-3} m

(e) நீர்மத்தின் அடர்த்தி = 2300 kg m^{-3}.

பாகியல் எண்ணை கணக்கிடுக.

5.48 800 kg m^{-3} அடர்த்தி கொண்ட நீர்மத்தில் 0.01m ஆரம் கொண்ட ஓர் காற்றுக் குமிழி 5×10^{-3} m s^{-1} சீரான வேகத்தில் மேல் நோக்கி செல்கிறது. நீர்மத்தின் பாகியல் எண்ணைக் காண்க. காற்றின் அடர்த்தியைத் தவிர்த்திடுக.

5.49 1 mm ஆரம் கொண்ட ஒரு பந்து 0.2 N s m^{-2} பாகுநிலை எண் கொண்ட நீர்மமொன்றில் 0.07 m s^{-1} என்ற வேகத்தில் இயங்கினால் அதன் மீதுள்ள பாகியல் விசையைக் கணக்கிடுக.

5.50 U வடிவக் கம்பி ஒன்று சோப்புக் கரைசலில் அமிழ்த்தப்படுகிறது. U கம்பிக்கும் நகரக்கூடிய கம்பிக்கும் இடையே உருவாகும் சோப்புப் படலம் 1.5×10^{-2} N எடையைத் தாங்குகிறது. நகரும் கம்பியின் நீளம் 30 cm எனில், படலத்தின் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடுக.

5.51 0.02 m ஆரம் கொண்ட வட்டமான தட்டொன்றை நீரின் மேற்பரப்பிலிருந்து அகற்றுவதற்குத் தேவைப்படும் விசையைக் கணக்கிடுக. நீரின் பரப்பு இழுவிசை 0.07 N m^{-1}எனக் கொள்க.

5.52 மேற்பரப்பளவு 0.5×10^{-4} m^2 உடைய ஒரு சோப்புக் குமிழியை 1.1×10^{-4} m^2 மேற்பரப்பளவு உடைய குமிழியாக்க ஊதவேண்டுமெனில் அதற்கு செய்யப்படும் வேலையைக் கணக்கிடுக. சோப்புக் கரைசலின் பரப்பு இழுவிசை 0.03 N m^{-1}.

5.53 0.5×10^{-3} m விட்டமுள்ள ஒரு நுண்புழைக் குழாயில் நீரின் ஏற்றம் எவ்வளவு எனக் கணக்கிடுக. நீரின் பரப்பு இழுவிசை 0.074 N m^{-1}. என கொடுக்கப் பட்டுள்ளது.

5.54 4 mm உள்விட்டம் கொண்ட நுண்புழைக் குழாய் ஒன்று பாதரசம் உள்ள ஓர் கிண்ணத்தில் செங்குத்தாக நிறுத்தி வைக்கப்பட்டுள்ளது. பாதரசத்தில் அடர்த்தி 13,500 kg m^{-3}, அதன் பரப்பு இழுவிசை 0.544 N m^{-1} ஆகும். குழாயிலுள்ள பாதரச மட்டம் வெளியே உள்ள பாதரசத்தின் மட்டத்தைவிட 2.33 mm கீழே இருந்தால், பாதரசம் கண்ணாடி ஆகியவற்றின் சேர்கோணம் காண்க.

5.55 5×10^{-4} m உள் ஆரம் கொண்ட ஒரு நுண்புழைக் குழாயானது 0.075 N m^{-1} பரப்பு இழுவிசை கொண்ட நீரில் அமிழ்த்தப்படுகிறது. நுண்புழை நுழைவு காரணமாக வெளியே உள்ள நீரின் மட்டத்தை விட எவ்வளவு உயரம் நீரானது குழாயினுள் ஏறும்? குழாயிலுள்ள நீர்த்தம்பத்தின் எடையைக் கணக்கிடுக.

5.56 ஒவ்வொன்றும் 10^{-8} m விட்டம் உடைய 1000 நீர்த்திவலைகள் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு பெரிய துளியாக மாறினால், வெளியிடப்படும் ஆற்றலின் அளவு யாது? நீரின் பரப்பு இழுவிசை 0.075 N m^{-1}.

5.57 கிடைமட்டத்தில் வைக்கப்பட்ட சீரற்ற குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு கொண்ட குழாய் ஒன்றின் வழியாக நீர் பாய்கிறது. 32×10^{-2} m திசைவேகம் கொண்ட ஒரு புள்ளியில் நீரின் அழுத்தம் 2×10^{-2} m s^{-1} பாதரச அழுத்தம் என இருப்பின், 40×10^{-2} m s^{-1} திசைவேகமுள்ள மற்றொரு புள்ளியில் செயல்படும் அழுத்தத்ததைக் கணக்கிடுக.

விடைகள்

5.1 (a)	**5.2** (b)	**5.3** (d)	**5.4** (a)
5.5 (c)	**5.6** (a)	**5.7** (d)	**5.8** (d)
5.9 (b)	**5.10** (a)		

5.39 *0.16 %* **5.40** *1 : 8*

5.41 $2.3 \times 10^{8}\ N\,m^{-2}$, *0.0025*, $2.89 \times 10^{3}\ N$

5.42 $-1.024 \times 10^{-8}\ m^{3}$ **5.43** $25\ N$

5.44 $5.13 \times 10^{3}\ kg$ **5.45** $3.14 \times 10^{-6}\ m^{3}\,s^{-1}$, $1\ m\,s^{-1}$

5.46 $0.1\ ms^{-1}$ **5.47** $4.25 \times 10^{-2}\ N\,s\,m^{-2}$

5.48 $34.84\ N\,s\,m^{-2}$ **5.49** $2.63 \times 10^{-4}\ N$

5.50 $2.5 \times 10^{-2}\ N\,m^{-1}$ **5.51** $8.8 \times 10^{-3}\ N$

5.52 $1.8 \times 10^{-6}\ J$ **5.53** $6.04 \times 10^{-2}\ m$

5.54 $124^{o}36'$ **5.55** $3.04 \times 10^{-2}\ m$, $2.35 \times 10^{-4}\ N$

5.56 $2.12 \times 10^{-14}\ J$ **5.57** $2636.8\ N\,m^{-2}$

பின்னிணைப்பு

(தேர்வுக்கு உரியதன்று)

லாமியின் தேற்றத்தை மெய்ப்பித்தல்

$\vec{P}$, $\vec{Q}$ மற்றும் $\vec{R}$ என்ற விசைகள் செயல்படுவதால், O என்ற புள்ளி சமநிலையில் இருக்கிறது. OA மற்றும் OB (=AD) என்பன, விசைகள் $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$-வை எண் மதிப்பிலும் திசையிலும் குறிக்கின்றன. விசைகளின் இணைகர விதியின்படி, $\vec{P}$ மற்றும் $\vec{Q}$ என்ற விசைகளின் தொகுபயனை OD குறிக்கும். விசைகள் சமநிலையில் இருப்பதால், DO என்பது மூன்றாவது விசை R-ஐக் குறிப்பிடும்.

ΔOADல், சைன்களின் விதியைப் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{OA}{\sin \underline{|ODA}} = \frac{AD}{\sin \underline{|AOD}} = \frac{OD}{\sin \underline{|OAD}}$$

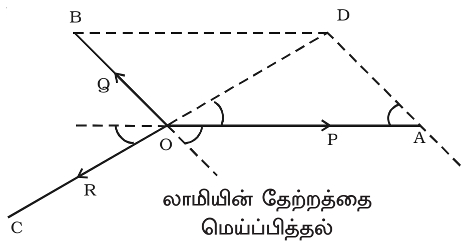
படம்.2.35-லிருந்து,

$\angle ODA = \angle BOD = 180^o - \angle BOC$

$\angle AOD = 180^o - \angle AOC$

$\angle OAD = 180^o - \angle AOB$

என அமைகின்றன.



லாமியின் தேற்றத்தை மெய்ப்பித்தல்

$$\frac{OA}{\sin(180^o - \angle BOC)} = \frac{AD}{\sin(180^o - \angle AOC)} = \frac{OD}{\sin(180^o - \angle AOB)}$$

அதாவது $$\frac{OA}{\sin \angle BOC} = \frac{AD}{\sin \angle AOC} = \frac{OD}{\sin \angle AOB}$$

$\angle BOC = \alpha$, $\angle AOC = \beta$, $\angle AOB = \gamma$ எனில்,

$$\frac{P}{\sin \alpha} = \frac{Q}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin \gamma}$$

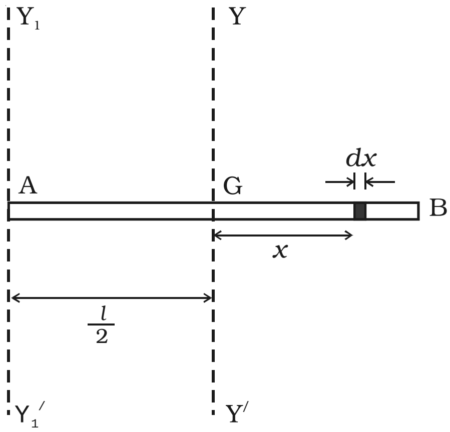
1 மெல்லிய சீரான தண்டு ஒன்றின் நிலைமத் திருப்புத் திறன்

(i) நீளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் ஈர்ப்பின் மையம் வழியேயும் செல்லும் அச்சினைப் பொருத்து.

படம் 1-ல் காட்டியவாறு, l நீளமும், M நிறையும் உடைய AB என்ற மெல்லிய சீரான தண்டு ஒன்றைக் கருதுவோம். அதன் ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறை $\frac{M}{l}$ ஆகும்.

YY' என்ற அச்சு தண்டின் ஈர்ப்பின் மையம் G வழியாகவும், நீளம் AB-க்குச் செங்குத்தாகவும் செல்கிறது.

தண்டில், dx நீளமுள்ள சிறுபகுதி G-யில் இருந்து x தொலைவில் இருப்பதாகக் கருதுக.



படம் 1 மெல்லிய சீரான தண்டு ஒன்றின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

சிறுபகுதியின் நிறை = ஓரலகு நீளத்தின் நிறை × சிறுபகுதியின் நீளம்

$$= \frac{M}{l} \times dx \qquad \ldots(1)$$

YY' அச்சைப் பொருத்து சிறுபகுதி dx-ன் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

dI = நிறை × (தொலைவு)^2

$$= \left(\frac{M}{l}dx\right)\left(x^2\right) \qquad \ldots(2)$$

சமன்பாடு (2)-ஐ $-\frac{l}{2}$ முதல் $+\frac{l}{2}$ வரை உள்ள எல்லைகளுடன் தொகையிட, YY' அச்சைப் பொருத்து முழுத் தண்டின் நிலைமத் திருப்புத் திறனைப் பெறலாம்.

$$I_{CG} = \int_{-l/2}^{+l/2}\left(\frac{M}{l}dx\right)x^2 = \frac{M}{l}\int_{-l/2}^{+l/2} x^2\, dx$$

$$I_{CG} = \frac{M}{l}\left(\frac{x^3}{3}\right)_{-l/2}^{+l/2} = \frac{M}{3l}\left[\left(\frac{l}{2}\right)^3 - \left(-\frac{l}{2}\right)^3\right]$$

$$= \frac{M}{3l}\left[\frac{l^3}{8}+\frac{l^3}{8}\right] = \frac{M}{3l}\left[\frac{2l^3}{8}\right]$$

$$I_{CG} = \frac{Ml^3}{12l} = \frac{Ml^2}{12} \qquad \ldots(3)$$

(ii) நீளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் ஒரு முனை வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து

முனை A வழியே செல்லும் Y_1Y_1' என்ற இணை அச்சைப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத்திறனை, இணை அச்சுக்கள் தேற்றத்தினைக் கொண்டு கணக்கிடலாம்.

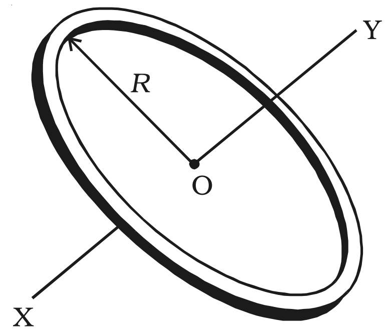
$$\therefore\ I = I_{CG} + M\left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{Ml^2}{12}+\frac{Ml^2}{4}$$

$$I = \frac{Ml^2}{3}$$

2 மெல்லிய வட்ட வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

(i) அதன் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து

படம் 2-ல் காட்டியவாறு, M நிறையும் R ஆரமும் உடைய O-வை மையமாகக் கொண்ட மெல்லிய வளையத்தைக் கருதுவோம். வளையம் மெல்லியதாக இருப்பதால், ஒவ்வொரு துகளும் XOY அச்சிலிருந்து R தொலைவில் இருக்கும். XOY அச்சானது, வளையத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் O-ன் வழியாகவும் செல்கிறது.



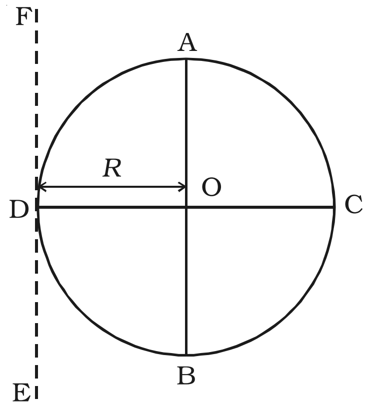
படம் 2 வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

XOY அச்சைப் பொருத்து, வளையத்தின் மீதிருக்கும் m நிறையுடையத் துகளின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் mR^2. எனவே, அச்சைப் பொருத்து வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

$$I = \Sigma mR^2 = (\Sigma m)R^2 = MR^2$$

(ii) அதன் விட்டத்தைப் பொருத்து

AB மற்றும் CD என்பன, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ள வளையத்தின் விட்டங்களாகும் (படம் 3). வளையமானது எந்தவொரு விட்டத்தையும் பொருத்து சமச்சீராக இருப்பதால், AB-ஐப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத் திறனும் CD-ஐப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத் திறனும் சமமாக இருக்கும். இதனை I_d என்க. தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும், மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் I எனில், செங்குத்து அச்சுக்கள் தேற்றத்தைச் செயல்படுத்த,



படம் 3 விட்டத்தைப் பொருத்து வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத் திறன்

$$\therefore I = I_d + I_d = MR^2 \text{ (அல்லது) } I_d = \frac{1}{2}MR^2$$

(iii) தொடுகோட்டைப் பொருத்து

AB-க்கு இணையான EF என்ற தொடுகோட்டைப் பொருத்து, வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத் திறனை, இணை அச்சுக்கள் தேற்றத்தைக் கொண்டு பெறலாம். எந்தவொரு தொடுகோட்டையும் பொருத்து வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

$$I_T = I_d + M\,R^2 = \frac{1}{2}MR^2 + MR^2$$

$$I_T = \frac{3}{2}MR^2$$

3 வட்டத் தட்டின் நிலைமத் திருப்புத் திறன்

(i) தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து

படம் 4-ல் காட்டியவாறு, M நிறையும் R ஆரமும் உடைய O-வை மையமாகக் கொண்ட வட்டத் தட்டு ஒன்றினைக் கருதுவோம். வட்டத் தட்டின் ஓரலகுப் பரப்பிற்கான நிறை σ என குறிக்கப்படுகிறது. 0 முதல் R வரை மாறக்கூடிய ஆரங்கள் உடைய பல வளையங்களால் தட்டு ஆக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கருதலாம். அவ்வளையங்களில் r ஆரமும் dr தடிமனும் உடைய ஒரு வளையத்தைக் கருதுவோம்.

வளையத்தின் சுற்றளவு = $2\pi r$

வளையத்தின் பரப்பு = $2\pi r\ dr$

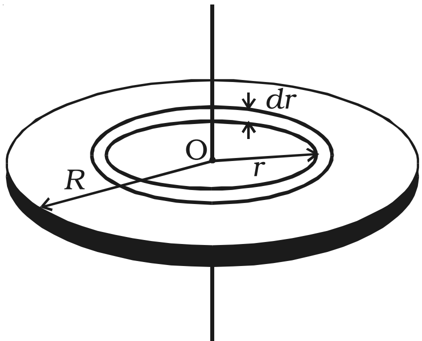
வளையத்தின் நிறை

$$= 2\pi r\ dr\ \sigma = 2\pi r\sigma\ dr \quad \ldots(1)$$

தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும், மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

$$dI = \text{நிறை} \times (\text{தொலைவு})^2$$

$$= (2\pi r\ \sigma\ \ dr)\ r^2 \quad \ldots(2)$$



படம் 4 வட்டத் தட்டின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, முழுத்தட்டின் நிலைமத் திருப்புத் திறன்,

$$I = \int_O^R 2\pi\sigma r^3 dr = 2\pi\sigma \int_O^R r^3 dr$$

$$= 2\pi\sigma \left[\frac{r^4}{4}\right]_O^R$$

(அல்லது) $I = \dfrac{2\pi\sigma R^4}{4} = \left(\pi R^2\sigma\right)\dfrac{1}{2}R^2$

$$= \frac{1}{2}\ MR^2 \quad \ldots(3)$$

இதில், $M = \pi R^2\sigma$ என்பது தட்டின் நிறையாகும்.

(ii) விட்டத்தைப் பொருத்து

வட்டத்தட்டானது, எந்தவொரு விட்டத்தையும் பொருத்து சமச்சீராக இருப்பதால், விட்டம் AB-ஐப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத் திறனும், விட்டம் CD-ஐப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத்திறனும் சமமாக இருக்கும் (படம் 5). இதனை I_d என்க. செங்குத்து அச்சுக்களின் தேற்றத்தின்படி, தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத்திறனானது, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான AB மற்றும் CD விட்டங்களைப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத்திறன்களின் கூடுதலுக்குச் சமமாக இருக்கும்.

எனவே, $I = I_d + I_d = \dfrac{1}{2}MR^2$

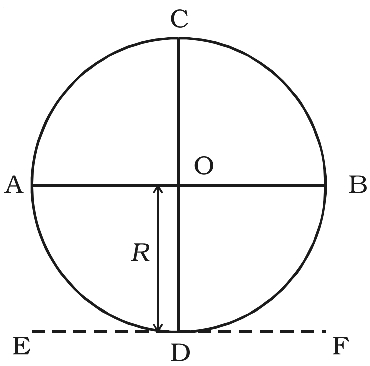
அதாவது, $I_d = \dfrac{1}{4}\ MR^2$

(iii) அதன் தளத்தில் தொடுகோட்டைப் பொருத்து

AB-க்கு இணையான EF என்ற தொடுகோட்டைப் பொருத்து, வட்டத்தட்டின் நிலைமத் திருப்புத்திறனை, இணை அச்சுக்கள் தேற்றத்தைக் கொண்டு பெறலாம் (படம் 5).

$$I_T = I_d + MR^2 = \frac{1}{4}MR^2 + MR^2$$

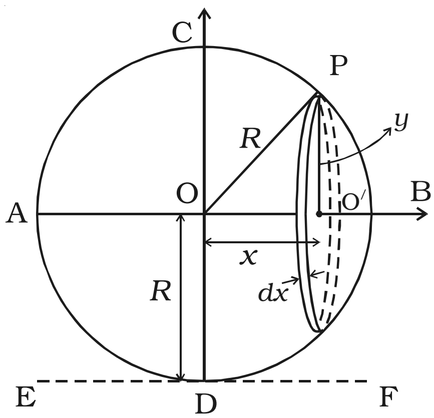
$$\therefore \quad I_T = \frac{5}{4}MR^2$$



படம் 5 தொடுகோட்டைப் பொருத்த நிலைமத் திருப்புத்திறன்

4 கோளத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

(i) விட்டத்தைப் பொருத்து



படம். 6 விட்டத்தைப் பொருத்து கோளத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

படம் 6-ல் காட்டியவாறு, M நிறையும் R ஆரமும் உடைய O-வை மையமாகக் கொண்ட சீரான திட கோளம் ஒன்றைக் கருதுவோம். AB என்ற விட்டத்தைப் பொருத்து, அதன் நிலைமத் திருப்புத்திறனைக் கணக்கிடலாம். கோளமானது, ஏராளமான, ஓரச்சில் அமைந்த வட்டத் தட்டுகளால் ஆனது என கருதப்படலாம். அவற்றின் மையம் AB-யிலும் அவற்றின் தளங்கள் AB-க்குச் செங்குத்தாகவும் உள்ளன. $PO' = y$ என்ற ஆரமும், O' -ஐ மையமாகவும், dx என்ற தடிமனும் உடைய வட்டத்தட்டு ஒன்று O-விலிருந்து x தொலைவில் இருப்பதாகக் கருதுக.

தட்டின் பருமன் = $\pi y^2 \, dx$ ...(1)

தட்டின் நிறை = $\pi \, y^2 \, dx \, . \, \rho$ ...(2)

படம் 3.16-லிருந்து, $R^2 = y^2 + x^2$

$y^2 = R^2 - x^2$ ...(3)

சமன்பாடுகள் (3) மற்றும் (2)-லிருந்து

வட்டத் தட்டின் நிறை = $\pi \, (R^2 - x^2) \, dx \;\; \rho$ ...(4)

விட்டம் AB-ஐப் பொருத்து வட்டத் தட்டின் நிலைமத் திருப்புத் திறன்,

$$dI = \frac{1}{2}(\text{நிறை}) \times (\text{ஆரம்})^2$$

$$= \frac{1}{2}\pi(R^2 - x^2)dx.\rho(y)^2$$

$$= \frac{1}{2}\pi\rho\left(R^2 - x^2\right)^2 dx \quad \dots (5)$$

சமன்பாடு (5)-ஐ $x = -R$ முதல் $x = +R$ வரை உள்ள எல்லைகளுடன் தொகையிட, விட்டம் AB-ஐப் பொருத்து, முழுக்கோளத்தின் நிலைமத் திருப்புத் திறனைப் பெறலாம்.

$$\therefore I = \int_{-R}^{+R} \frac{1}{2}\pi\rho(R^2 - x^2)^2 dx$$

$$I = 2 \times \frac{1}{2}(\pi\rho)\int_O^R (R^2 - x^2)^2 dx$$

$$= (\pi\rho)\int_O^R (R^4 + x^4 - 2R^2x^2)dx$$

$$= \pi\rho\left[R^5 + \frac{R^5}{5} - \frac{2R^5}{3}\right]$$

$$= \pi\rho\left(\frac{8}{15}R^5\right) = \left(\frac{4}{3}\pi R^3\rho\right)\left(\frac{2}{5}R^2\right)$$

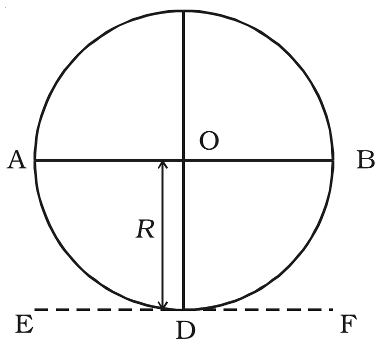
$$= M.\left(\frac{2}{5}R^2\right) = \frac{2}{5}MR^2$$

இதில் $M = \frac{4}{3}\pi R^3\rho$ என்பது திட கோளத்தின் நிறையாகும்.

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

(ii) தொடுகோட்டைப் பொருத்து

விட்டம் AB-க்கு இணையான EF என்ற தொடுகோட்டைப் பொருத்து, திட கோளத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறனை இணையச்சுக்கள் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம். (படம் 7)



படம் 7 தொடுகோட்டைப் பொருத்து கோளத்தின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

$$I_T = I_{AB} + MR^2 = \frac{2}{5}MR^2 + MR^2$$

$$\therefore\ I_T = \frac{7}{5}\ MR^2$$

5 திட உருளையின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

i) அதனுடைய அச்சைப் பொருத்து

l நீளமும், R ஆரமும், M நிறையும் உடைய திட உருளையொன்றைக் கருதுவோம். திட உருளையானது, ஏராளமான, ஒன்றின் மீது மற்றொன்றாக அடுக்கப்பட்ட மெல்லிய வட்டத் தட்டுகளால் ஆக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கருதுக. அவை ஒவ்வொன்றின் ஆரம் R மற்றும் நிறை m எனக் கொள்க.

தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, தட்டொன்றின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் = $\frac{mR^2}{2}$

$\therefore$ அதன் அச்சைப் பொருத்து, உருளையின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

$$I = \Sigma \frac{mR^2}{2}$$

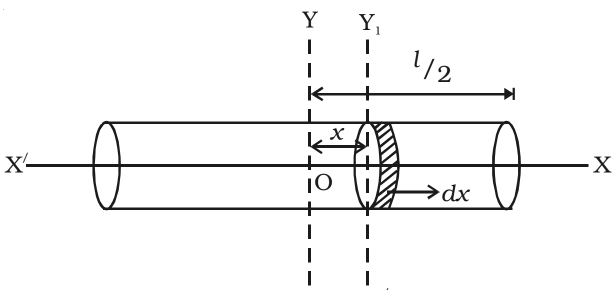
$$I = \frac{R^2}{2}\left(\sum m\right) = \frac{R^2}{2}M = \frac{MR^2}{2}$$

(ii) நீளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து

உருளையின் ஓரலகு நீளத்தின் நிறை = $\frac{M}{l}$ ...(1)

O என்பது உருளையின் ஈர்ப்பின் மையம் ஆகும் (படம் 8). YOY′ என்ற அச்சு, உருளையின் நீளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும், ஈர்ப்பின் மையம் வழியாகவும் செல்கிறது.

YY′ அச்சிலிருந்து x தொலைவில் dx அகலம் உடைய சிறிய வட்டத்தட்டு ஒன்றைக் கருதுக.



படம் 8 உருளையின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

$\therefore$ தட்டின் நிறை = ஓரலகு நீளத்தின் நிறை × அகலம் = $\left(\frac{M}{l}\right) dx$ ...(2)

YY′ -க்கு இணையான அச்சைப் பொருத்து, அதாவது, விட்டத்தைப் பொருத்து, தட்டின் நிலைமத் திருப்புத்திறன் = (நிறை) $\left(\frac{ஆரம்^2}{4}\right)$

$$= \left(\frac{M}{l}dx\right)\left(\frac{R^2}{4}\right) = \frac{MR^2}{4l}dx \quad ...(3)$$

இணை அச்சுகள் தேற்றத்தின்படி, விட்டத்திற்கு இணையாகவும் உருளையின் மையத்தின் வழியாகவும் செல்லும் அச்சைப் பொருத்து, (YY′-ஐப் பொருத்து) தட்டின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்

$$dI = \left(\frac{MR^2}{4l}\right)dx + \left(\frac{M}{l}dx\right)(x^2) \quad ...(4)$$

எனவே, YY′–ஐப் பொருத்து உருளையின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்,

$$I = \int_{-l/2}^{+l/2}\left(\frac{MR^2}{4l}dx + \frac{M}{l}x^2dx\right)$$

$$= \frac{MR^2}{4l}\int_{-l/2}^{+l/2}dx + \frac{M}{l}\int_{-l/2}^{+l/2}x^2dx$$

$$I = \frac{MR^2}{4l}\left[x\right]_{-l/2}^{+l/2} + \frac{M}{l}\left(\frac{x^3}{3}\right)_{-l/2}^{+l/2}$$

$$I = \frac{MR^2}{4l}\left[\left(\frac{l}{2}\right) - \left(-\frac{l}{2}\right)\right] + \frac{M}{l}\left[\frac{\left(\frac{l}{2}\right)^3 - \left(-\frac{l}{2}\right)^3}{3}\right]$$

$$I = \frac{MR^2}{4l}(l) + \left(\frac{M}{l}\right)\left[\frac{2l^3}{24}\right]$$

$$= \frac{MR^2}{4} + \frac{Ml^2}{12}$$

$$I = M\left(\frac{R^2}{4} + \frac{l^2}{12}\right) \quad ...(5)$$