படலம் 5

அசைவின் விதிகள்

5.1 அறிமுகம்
5.2 அரிசுட்டாட்டிலின் மயக்கவழு
5.3 மாறாமைவிதி
5.4 நியூட்டனின் முதல் அசைவுவிதி
5.5 நியூட்டனின் இரண்டாம் அசைவுவிதி
5.6 நியூட்டனின் மூன்றாம் அசைவுவிதி
5.7 உந்தத்தின் அழியாக்காப்பு
5.8 ஒரு துகளின் சமநிலை
5.9 எந்திரவியலில் பொதுவான விசைகள்
5.10 வட்டமான அசைவு
5.11 எந்திரவியலில் சிக்கல்களை தீர்த்தல்
சுருக்கவுரை
உங்கள் சிந்தனைக்கு
பயிற்சிகள்
மேலும் பயிற்சிகள்

5.1 அறிமுகம்

முந்தைய படலத்தில் ஒரு துகள் இடவெளியில் அசைவதை அளவியமாக கருதினோம். சீரான அசைவுக்கு திசைவேகத்தின் கருத்துருவே போதும் என்றும் சீரற்ற அசைவுக்கு முடுக்கத்தின் கருத்துருவும் தேவை என்றும் கண்டோம். இதுவரை பொருள்களின் அசைவை ஆள்வது எது என்ற கேள்வியை நாம் கருதவில்லை. இந்தப்படலத்தில் இந்த அடிப்படைக் கேள்விக்கு கவனத்தை திருப்புவோம்.

முதலில் நம் பொதுவான பட்டறிவின் அடிப்படையில் விடையை ஊகிக்க முயல்வோம். ஓய்விலிருக்கும் ஒரு காற்பந்தை அசையச் செய்ய ஒருவர் உதைக்கவேண்டும். ஒரு கல்லை எறிய ஒருவர் அதை தள்ளவேண்டும். தென்றல் மரக்கிளைகளை ஆடச்செய்கிறது. வலுவான காற்று நிறைமிகுந்த பொருள்களையும் அசைக்கிறது. ஓடும் ஆற்றில் ஒரு படகு வேறெதுவும் செலுத்தாமலே செல்கிறது. ஒரு பொருளின் ஓய்வுநிலையிலிருந்து அதை அசைக்க ஒரு வெளிமுகவம் அதன்மீது ஒரு விசையை செலுத்தவேண்டும் என்பது தெளிவாகிறது. இதைப்போலவே அசைவை வேகங்குறைத்து நிறுத்தவும் ஒரு புறவிசை தேவை. சரிந்த தளத்தில் உருளும் ஒரு பந்தின்மீது அதன் அசைவுக்கு எதிரான திசையில் ஒரு விசையை செலுத்துவதன்மூலம் அதை நிறுத்தலாம்.

இந்த சான்றுகளில், விசையின் வெளிமுகவர்கள் (கைகள், காற்று, ஓடை, இன்னபிற) பொருளை தொட்டுக்கொண்டிருக்கின்றன. இது எப்போதும் தேவையில்லை. மொட்டை மாடியிலிருந்து விடுபட்ட ஒரு கல் புவியீர்ப்பின் இழுப்பால் முடுக்கமடைகிறது. சட்டக்காந்தம் தொலைவில் கிடக்கும் ஒரு ஆணியை இழுக்கிறது. இதிலிருந்து **புவியீர்ப்புவிசை, காந்தவிசை போன்ற வெளிமுகவங்கள் தொலைவிலிருந்தே ஒரு பொருளின்மீது விசையை செலுத்தலாம்** என்பதை அறிகிறோம்.

சுருக்கமாக, ஒரு அசையாத பொருளை அசையவைக்க ஒரு விசை தேவை; அந்த

விசையை வழங்க ஒரு வெளிமுகவம் தேவை. இந்த வெளிமுகவம் பொருளை தொட்டுக் கொண்டோ தொடாமலோ இருக்கலாம்.

நன்று! இப்போது, ஒரு பொருள் சீரான அசைவிலிருக்கும்போது (சான்றாக, ஒரு பனிச்சறுக்கர் கிடைமட்டமான பனித்தளத்தில் மாறாத்திசைவேகத்தில் நேர்க்கோட்டில் அசை யும்போது) என்னவாகிறது? **ஒரு பொருளை சீரான அசைவில் வைத்திருக்க புறவிசை தேவையா?**

5.2 அரிசுட்டாட்டிலின் மயக்கவழு

மேல் கேட்ட கேள்வி எளிமையானதாக தோன்றுகிறது. ஆனால், அதற்கு விடையளிக்க நெடுங்காலம் ஆனது. உண்மையில், இந்த கேள்விக்கு பதினேழாம் நூற்றாண்டில் கலிலியோ வழங்கிய சரியான விடை இக்கால அறிவியலின் பிறப்பாக விளங்கும் நியூட்டனின் இயங்கியலுக்கு அடிப்படையாயிற்று. அரிசுட்டாட்டில் (கி.மு.384-கி.மு.322) என்ற கிரேக்கச்சிந்தனையாளரின் நோக்கில், ஒரு பொருள் அசைந்துகொண்டிருந்தால், அதை அசைவில் வைத்திருக்க ஒரு வெளிமுகவம் தேவை. இந்த நோக்கில், சான்றாக, வில்லிலிருந்து எய்யப்பட்ட ஒரு அம்பு பறந்துகொண்டிருப்பது அதன் பின்னுள்ள வளி அதை தள்ளுவதால். இந்த நோக்கு புடவியிலுள்ள பொருள்களின் அசைவைப்பற்றி அரிசுட்டாட்டில் வளராக்கிய விரிவான கருத்துச்சட்டகத்தின் ஒரு பகுதி. அசைவைப்பற்றிய அரிசுட்டாட்டிலின் பெரும்பான்மையான கருத்துகள் தவறாய்ப் போய்விட்டதால் நாம் அவற்றை இங்கு கருத வேண்டியதில்லை. நம் இப்போதைய தேவைக் காக, அரிசுட்டாட்டிலின் அசைவுவிதியை **ஒரு பொருளின் அசைவை தொடர ஒரு புறவிசை தேவை** என்ற கூறலாம்.

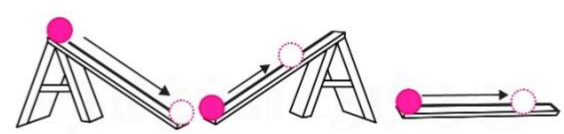
அரிசுட்டாட்டிலின் அசைவுவிதி பிழையா னது என்று நாம் விரைவில் காண்போம். ஆனால், இது பொதுவான பட்டறிவிலிருந்து யாரும் எதிர்பார்க்கக்கூடியது. (மின்விசையால் இயங் காத) குழந்தையின் விளையாட்டுவண்டியின் ஓட்டத்தை தொடர அதன் கயிற்றை இழுத்துக் கொண்டே யிருக்கவேண்டும் என்பது அந்த சிறு குழந்தைக்கும் தெரியும். கயிற்றை விட்டால் வண்டி நின்றுபோகும். இந்த பட்டறிவு புவியின்மீது நாம் காணும் பெரும்பான்மையான அசைவுகளுக்கு பொருந்துகிறது. பொருள்களை அசைவில் வைக்க புறவிசைகள் தேவைப் படுவதுபோல் தெரிகிறது. தாமாகவே ஓட விட்டால் பொருள்கள் இறுதியில் ஓய்வுநிலையை அடைகின்றன.

அரிசுட்டாட்டிலின் விவாதத்தில் என்ன தவறு? அசையும் வண்டி ஓய்வுக்கு வருவதன் காரணம் அதன் அசைவுக்கு எதிராக செயலாற்றும் உராய்வு என்ற புறவிசையே. இந்த விசையை எதிர்க்கவே குழந்தை அசைவின் திசையில் ஒரு விசையை செலுத்துகிறது. வண்டி சீரான அசைவிலிருக்கும்போது அதன்மீது நிகரவிசை செயலாற்றவில்லை. குழந்தையின் விசை தரையின் உராய்வுவிசையை நீக்கிவிடுகிறது. இதன் கிளைத்தேற்றம் என்ன வென்றால், உராய்வு இல்லாவிட்டால் வண்டியை சீரான அசைவில் வைத்திருக்க குழந்தை எந்த விசையையும் செலுத்தவேண்டியதிருக்காது.

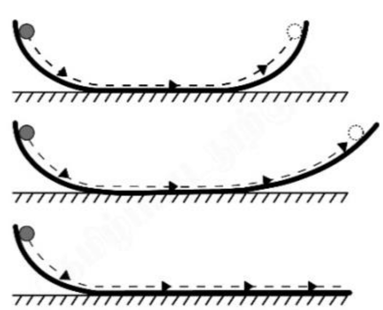
உராய்வு (திண்மங்களில்), பாகுமை (பாய்மங்களில்) போன்ற எதிர்ப்புவிசைகள் இயலுலகில் எப்போதும் இருக்கின்றன. உராய்வு விசைகளை எதிர்த்து பொருள்களை சீரான அசைவில் வைத்திருக்க வெளிமுகவங்களி லிருந்து விசைகள் தேவைப்படுவதை இது விளக்குகிறது. அரிசுட்டாட்டில் செய்த பிழையை இப்போது நாம் புரிந்துகொள்ளலாம். இந்த நடைமுறைப்பட்டறிவையே அவர் ஒரு அடிப் படைவிவாதமாக குறிப்பிட்டார். விசைகளையும் அசைவுகளையும் பற்றிய உண்மையான இயல்விதிகளை பெற, உராய்வுவிசைகளின் எதிர்ப்பு இல்லாமல் சீரான அசைவு சாத்தியமாகும் ஒரு உலகை ஒருவர் கற்பனை செய்யவேண்டும். இதையே கலிலியோ செய்தார்.

5.3 மாறாமைவிதி

கலிலியோ ஒரு சரிந்த தளத்தில் பொருள்களின் அசைவை ஆராய்ந்தார். (அ) சரிந்த தளத்தில் கீழ்நோக்கி அசையும் பொருள்கள் முடுக்கமடைகின்றன. (ஆ) சரிந்த தளத்தில் மேனோக்கி அசையும் பொருள்கள் வேகமிழக்கின்றன. (இ) கிடைமட்டத்தளத்தில் அசையும் பொருள்கள் இடைப்பட்டவை. கலிலியோ உராய்வற்ற கிடைமட்டத்தளத்தில் அசையும் பொருள் முடுக்கமடையவோ வேகமிழக்கவோ கூடாது என்ற முடிவுக்கு வந்தார். அதாவது, அது மாறாத்திசைவேகத்தில் அசைய வேண்டும் (படம் 5.1(அ)).



(அ) (ஆ) (இ)



படம் 5.1 இரண்டுபக்கங்களில் சரிந்த தளத்தில் பந்து உருள்வதிலிருந்து கலிலியோ மாறாமைவிதியை ஊகித்தார்.

கலிலியோ செய்த மற்றொரு பரிசோதனையும் இதே முடிவை தந்தது. இங்கு அவர் இருபக்கமும் சரிந்த ஒரு தளத்தை பயன்படுத்தினார் (படம் 5.1(ஆ)). ஒரு சரிந்த தளத்தில் ஓய்விலிருந்து விடப்பட்ட பந்து கீழிறங்கி அடுத்த சரிந்த தளத்தின்மேல் ஏறுகிறது. தளங்கள் வழவழப்பாயிருந்தால், பந்தின் இறுதி உயரம் தொடக்க உயரத்துக்கு கிட்டத்தட்ட சமம் (சற்று குறைவானது, ஆனால் ஒருபோதும் அதிகமில்லை). உராய்வு இல்லாத நல்லியல்பான நிலைமையில் இறுதியுயரம் தொடக்கவுயரத்துக்கு சமமாயிருக்கும்.

இரண்டாம் தளத்தில் சரிவை குறைத்து பரிசோதனையை மீண்டும் செய்தால், பந்து நீண்ட தொலைவுக்கு பயணிப்பினும், அதே உயரத்தையே அடைகிறது. இரண்டாம் தளத்தின் சரிவு சுழியமாகும் எல்லைவேற்றுவத்தில், அதாவது கிடைமட்டமாகும் போது, பந்து முடிவிலா தொலைவுக்கு பயணிக்கிறது. வேறுவிதமாகச்சொன்னால், அசைவு நிற்பதில்லை. இது நல்லியல்பு நிலைமையில்.

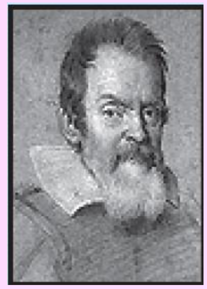
நடைமுறையில் பந்து கிடைமட்டத்தளத்தில் முடிவுறு தொலைவுக்கு பயணித்தபின் நின்றுவிடு கிறது; ஏனெனில், எதிர்க்கும் உராய்வுவிசை ஒருபோதும் முற்றிலும் மறைவ தில்லை. ஆனால், உராய்வு இல்லாவிட்டால் பந்து கிடைமட்டத்தளத்தில் மாறாத்திசைவேகத்துடன் அசைவது தொடரும்.

இவ்வாறு, கலிலியோ அசைவைப்பற்றி அரிசுட்டாட்டிலுக்கும் அவரை பின்பற்றியவர்க ளுக்கும் கிடைக்காத ஒரு புதிய உண்ணோக்கை பெற்றார். ஓய்வுநிலையும் சீரான நேரிய அசைவுநிலையும் (மாறாத்திசைவேகமுள்ள அசைவு) சமானமானவை. இரண்டு வேற்றுவங்களிலும் பொருளில் செயலாற்றும் நிகரவிசை இல்லை. பொருளை சீரான அசைவில் வைக்க ஒரு நிகரவிசை தேவை என்பது சரியன்று. பொருளை சீரான அசைவில் வைக்க உராய்வுவிசையை எதிர்க்க ஒரு புறவிசையை செலுத்தவேண்டும். இதனால் பொருளின்மீது செயலாற்றும் நிகரவிசை சுழியமாகிறது.

சுருக்கவுரையாக, நிகர விசை சுழயமெனில், ஓய்விலிருக்கும் பொருள் ஓய்விலே இருக்கிறது; சீரான திசைவேகத்தில் அசையும் பொருள் அந்த அசைவை தொடர்கிறது. பொருளின் இந்த பண்பை மாறாமை என்கிறோம். அதாவது இது மாற்றத்துக்கு ஒரு தடையம். ஒரு பொருளின் ஓய்வோ சீரான அசைவோவான நிலையை மாற்றும் ஒரு புறவிசை இல்லாவிட்டால் அந்த நிலை மாறுவதில்லை.

கலிலியோ கலிலி (1564-1642)

இத்தாலியிலுள்ள பீசாவில் 1564இல் பிறந்த கலிலியோ கலிலி சுமார் நான்கு நூற்றாண்டுகளுக்குமுன் ஐரோப்பாவில் நிகழ்ந்த அறிவியற்புரட்சியில் முக்கியப் பங்கை வகித்தார். கலிலியோவே முடுக்கம் என்ற கருத்துருவை முன்வைத்தார். பொருள்கள் சாய்ந்த தளத்தில் அசைவதிலும் கட்டின்றி வீழ்வதிலும் அவர் நிகழ்த்திய பரிசோதனைகளிலிருந்து ஒரு பொருளை அசைவில் வைத்திருக்க விசை தேவை என்பதும் நிறை மிகுந்த பொருள் நிறை குறைந்த பொருளைவிட புவியீர்ப்பால் விரைவில் விழுகிறது என்பதுமான அரிசுட்டாட்டிலின் கருத் திலிருந்து முரணான முடிவை பெற்றார்.



இவ்வாறு கலிலியோ ஐசக்கு நியூட்டனின் புகழ்வாய்ந்த கண்டுபிடிப்புகளுக்கு தொடக்கப்புள்ளியான மாறாமைவிதியை வந்தடைந்தார்.

வானியலில் கலிலியோவின் கண்டு பிடிப்புகளும் சமமான புரட்சிகரமானவை. 1609இல் அவர் தானே ஒரு தொலை நோக்கியை வடிவமைத்து பல திடுக்கிடும் உண்மைகளை கண்டுபிடித்தார். நிலாவின் பரப்பில் மலைகளும் குழிகளும் இருக்கக்கண்டார்; கதிரவனில் கரும்புள்ளி களை கண்டார்; வியாழனின் துணைக்கோள் களையும் வெள்ளியின் பிறைகளையும் கண்டுபிடித்தார். பால்வீதியின் ஒளிர்மை வெறுங்கண்ணுக்கு தெரியாத மிகப்பல உடுக்களால் ஏற்படுகிறது என்ற முடிவுக்கு வந்தார். இவரது அறிவியற் காரணத்துவத்தின் உச்சியான *இரண்டு முதன்மையான உலக அமைப்புகளைப்பற்றிய உரையாடல்* என்ற நூலில் கதிரவ அமைப்புக்காக கோப்பர் நிக்கசு முன்வைத்திருந்த கதிரவமையக்கோட் பாட்டை பரிந்துரைத்தார். இதுவே இறுதியில் முழுமையாக ஏற்கப்பட்டது.

கலிலியோவால் அறிவியலின் ஆய்வு முறையில் ஒரு புதிய திருப்பம் ஏற்பட்டது. அறிவியல் இயற்கையை வெறுமனே கண்டறிந்து அவற்றிலிருந்து உய்த்துணர்வது மட்டுமன்று; கோட்பாடுகளை நிறுவவோ மறுக்கவோ பரிசோதனைகளை வடிவமைத்து நிகழ்த்துவதும் அதில் அடங்குகிறது. அளவுகளை அளவிட்டு அவற்றுக்கிடையில் உறவுகளை வருவிப்பதும் அறிவியலின் ஒரு பகுதி. பலர் கலிலியோவை அறிவியலின் தந்தையாக கருதுவதற்கு காரணமில்லா மலில்லை.

5.4 நியூட்டனின் முதல் அசைவுவிதி

கலிலியோவின் எளிய புரட்சிகரமான கருத்து அரிசுட்டாட்டிலின் எந்திரவியலை பதவியிறக்கியது. ஒரு புதிய எந்திரவியல் தேவையானது. இதை மனித வரலாற்றிலே

மிகச்சிறந்த அறிவியலரான நியூட்டன் கிட்டத்தட்ட தனியாகவே சாதித்தார்.

நியூட்டன் கலிலியோவின் கருத்துகளிலிருந்து தொடங்கி, அசைவின் மூன்று அசைவுவிதிகளின் வழியாக எந்திரவியலின் அடிப்படையை நிறுவினார். இந்த மூன்று விதிகளும் அவர்பெயரால் வழங்குகின்றன. கலிலியோவின் மாறாமைவிதி இவரது தொடக்கப்புள்ளியாக அமைந்தது. அதை இவர் **அசைவின் முதல்விதி**யாக கீழ்க்காணுமாறு உரைத்தார்:

எந்தவொரு பொருளும் அதன் அசைவை மாற்றும் ஒரு புறவிசை இல்லாதபோது தன் ஓய்வுநிலையிலோ நேர்க்கோட்டில் சீரான அசைவிலோ நிலைக்கிறது.

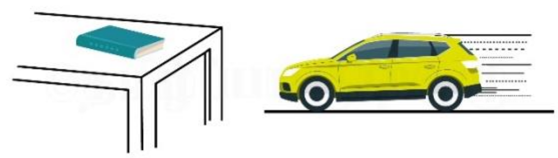
ஓய்வோ சீரான அசைவோவான இந்த நிலை சுழிய முடுக்கத்தை குறிக்கிறது. எனவே, அசைவின் முதல்விதியை எளிமையாக கீழ்க்காணுமாறு உரைக்கலாம்.

ஒரு பொருளின்மீதான நிகர புறவிசைகள் சுழியமெனில், அதன் முடுக்கம் சுழியம். பொருளின்மீது ஒரு நிகர புறவிசை செயலாற்றும்போது மட்டுமே சுழியமற்ற முடுக்கம் இருக்கலாம்.

இந்த விதியின் நடைமுறைப்பயன்பாட்டில் இருவிதமான நிலைமைகளை எதிர்கொள்கிறோம். சில சான்றுகளில், பொருளின்மீதான நிகர விசை சுழியம் என்பதிலிருந்து பொருளின் நிகர முடுக்கம் சுழியமென்று முடிவுசெய்கிறோம். சான்றாக, உடுக்களிடையான வெளியில் மற்றப்பொருள்களிலிருந்து வெகுதொலைவிலுள்ள ஒரு விண்வெளிக்கலத்தின் எல்லா ஏவிகளும் முடக்கப்பட்டிருக்கும்போது கலத்தின் மீது நிகர புறவிசை இல்லை. அப்போது அது அசைவிலிருந்தால் சீரான திசைவேகத்தில் அசைந்துகொண்டே இருக்கவேண்டும்.

ஆனால், பொதுவாக நாம் விசைகளை அறியமாட்டோம். ஒரு பொருளில் முடுக்கமில்லை என்பதை அறிகிறோம். அதாவது அது ஓய்விலிருக்கிறது என்பதையோ சீரான நேர்க்கோட்டசைவிலிருக்கிறது என்றோ அறிகிறோம். இதிலிருந்து அசைவின் முதல்விதியின்படி பொருளின்மீதுள்ள நிகர புறவிசை சுழியம் என்ற முடிவை பெறுகிறோம். நிறையீர்ப்பு எங்கும் உள்ளது. குறிப்பாக, புவியத்தோற்றப்பாடுகளில் ஒவ்வொரு பொருளும் புவியின் நிறையீர்ப்பை உணர்கிறது. மேலும் அசைவிலுள்ள பொருள்களில் உராய்வு, பாகுமையிழுமை போன்றவை எப்போதும் செயலாற்றுகின்றன. அப்படியெனில், புவியில், ஓய்விலோ சீரான நேரசைவிலோ இருக்கும் ஒரு பொருளின்மீதான புறவிசை சுழியமன்று; அதன்மீது செயலாற்றும் புறவிசைகள் ஒன்றையொன்று நீக்குவதால் அவற்றின் திசையன்கூட்டல் சுழியமாகிறது.

ஒரு கிடைமட்டத்தளத்தில் ஓய்விலிருக்கும் ஒரு புத்தகத்தை கருதுக (படம் 5.2(அ)). இதன்மீது இரண்டு புறவிசைகள் செயலாற்றுகின்றன. அவை கீழ்நோக்கிச்செயலாற்றும் புவியீர்ப்பு விசையும் (புத்தகத்தின் எடையான W) மேசை செலுத்தும் R என்ற மேனோக்கிய செங்குத்து விசையும். R ஒரு தானே சரிக்கட்டும் விசை. இது மேற்சொன்ன நிலைமைக்கு ஒரு சான்று. விசைகளை நாம் முற்றிலும் அறியவில்லை; ஆனால் பொருளின் அசைவுநிலையை அறிகிறோம். புத்தகம் ஓய்விலிருப்பதை நாம் கண்டறிகிறோம். எனவே, முதல்விதியிலிருந்து R இன் பருமனளவு W வின் பருமனளவுக்கு சமம் என்ற முடிவை பெறுகிறோம். பலநேரங்களில் “ $R = W$ என்பதால் விசைகள் நீங்கி புத்தகம் ஓய்விலிருக்கிறது” என்ற கூற்றை எதிர்கொள்கிறோம். இந்த காரணத்துவம் சரியன்று. “புத்தகம் ஓய்விலிருப்பதை கண்டறிவதால் முதல்விதியின் படி அதன்மீதுள்ள நிகர விசை சுழியமாகவேண்டும். செங்குத்துவிசையான R எடையான W க்கு சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் உள்ளது” என்பதே சரியான கூற்று.



(அ) (ஆ)

படம் 5.2 (அ) மேசைமீது புத்தகம் ஓய்விலுள்ளது. (ஆ) ஒரு சிற்றுந்து சீரான திசைவேகத்தில் அசைகிறது. இரண்டு வேற்றுவங்களிலும் நிகரவிசை சுழியம்.

ஒரு சிற்றுந்து ஓய்விலிருந்து தொடங்கி வேகமடைந்து மேடுபள்ளமற்ற நேரான சாலையில் சீரான வேகத்துடன் ஓடுவதை கருதுக (படம் 5.2(ஆ)). சிற்றுந்து கிடப்பிலிருக்கும்போது அதன்மீது செயலாற்றும் நிகரவிசை இல்லை. வேகமடையும்போது அது முடுக்கமடைகிறது. இது ஒரு நிகர புறவிசையால் நிகழவேண்டும். இது புறவிசையாயிருக்கவேண்டும் என்பதை நோக்குக. சிற்றுந்தின் முடுக்கத்தை அகவிசையால் விளக்கவியலாது. இது வியப்பூட்டலாம்; எனினும் உண்மை. சாலையில் நாம் கருதக்கூடிய ஒரே புறவிசை உராய்வின் விசை. சிற்றுந்தை ஒரு அமைப்பாக முடுக்குவது உராய்வே. (உராய்வைப்பற்றி 5.9ஆம் பகுதியில் படிப்பீர்கள்.) சிற்றுந்து சீரான திசைவேகத்தில் அசையும்போது நிகர புறவிசை சுழியம்.

முதல்விதியிலுள்ள மாறாமைப்பண்பு பல நிலைமைகளில் தெளிவாக தெரிகிறது. ஒரு பேருந்தில் நாம் நின்றுகொண்டிருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். ஓட்டுநர் பேருந்தை திடீரென்று ஓட்டத்தொடங்கும்போது நாம் பின்னோக்கி தள்ளப்படுகிறோம். ஏன்? நம் கால்கள் பேருந்தின் தரையில் ஊன்றியிருக்கின்றன. உராய்வு இல்லாவிட்டால் நாம் இருக்குமிடத்திலே இருப்போம்; பேருந்தின் தரை நம் காலுக்கடியில் வழுக்கிச்செல்லும். பேருந்தின் பின்சுவர் வந்து நம்மீது மோதும். ஆனால் நற்பேறாக நம் காலுக்கும் தரைக்கு

மிடையில் உராய்வு இருக்கிறது. தொடக்கம் மிகவும் திடீரென்று நிகழாமல் முடுக்கம் படிப்படியாக நிகழ்ந்தால், உராய்வுவிசை நம் கால்களை பேருந்துடன் முடுக்க போதுமானது. ஆனால் நம் உடல் முற்றிலும் நெளியாப்பொரு ளன்று. அது உருத்திரிபடையக்கூடியது. அதாவது உடலின் வெவ்வேறு பாகங்களிடையில் ஒப்பளவ அசைவு நிகழலாம். இதனால், நம் கால்கள் பேருந்துடன் போகும்போது உடலின் மற்றப் பகுதிகள் மாறாமையால் இருந்தவிடத்திலே இருக்கின்றன. ஆனால் உடனே நம் தசையின் விசைகள் செயலாற்றத்தொடங்கி உடலை கால்களுடன் செலுத்துகின்றன. இதைப்போன்ற ஒன்று பேருந்து திடீரென்று நிற்கும்போதும் நிகழ்கிறது. உராய்வு கால்களுக்கும் பேருந்தின் தரைக்குமிடையில் ஒப்பளவ அசைவை தடுப்ப தால் கால்கள் பேருந்துடன் நின்றுவிடுகின்றன. உடலின் மற்றப்பகுதிகள் மாறாமையால் முன்னோக்கி அசைகின்றன. இதனால் நாம் முன்னோக்கி விழப்பார்க்கிறோம். இங்கும் தசையின் விசைகள் உடலை நிறுத்துகின்றன.

சிக்கல் 5.1

ஒரு விண்வெளிப்பயணர் ஒரு விபத்தால் தன் சிறு விண்வெளிக்கலத்திலிருந்து விடு பட்டு விண்வெளியில் $100\,m\,s^{-1}$ வேகத்தில் செல்கிறார். அவர் விண்கலத்திலிருந்து விடுபடும் நேரத்தில் அவரது முடுக்கம் என்ன? (அவர்மீது நிறையீர்ப்புவிசையை செலுத்தக் கூடிய உடுக்கள் ஏதும் அருகில் இல்லை என்று கொள்க.)

தீர்வு

அவர்மீது நிறையீர்ப்புவிசையை செலுத்த அருகில் உடுக்கள் இல்லாததாலும் விண் வெளிக்கலம் அதன் நிறையீர்ப்பை புறக்க ணிக்கத்தக்கவாறு சிறிதாயிருப்பதாலும் விண்வெளிப்பயணர் கலத்தைவிட்டு வெளியேறியதும் அவர்மீது செயலாற்றும் நிகர விசை சுழியம். அசைவின் முதல் விதியின்படி அவர்மீதுள்ள முடுக்கம் சுழியம்.

5.5 நியூட்டனின் இரண்டாம் அசைவுவிதி

முதல் விதி புறவிசை சுழியமான எளிய வேற்றுவத்துக்கு பயனாகிறது. அசைவின் இரண்டாம்விதி பொருளின்மீது ஒரு நிகர புறவிசை செயலாற்றும் பொதுவமான வேற்றுவத்தை கையாள்கிறது. இது நிகர புறவிசையை பொருளின் முடுக்கத்துக்கு உறவாக்குகிறது.

5.5.1 உந்தம்

ஒரு பொருளின் உந்தம் என்பதை பொருளின் m என்ற நிறைக்கும் $\boldsymbol{v}$ என்ற திசைவேகத்துக்குமான பெருக்கலாக வரைய றுத்து அதை $\boldsymbol{p}$ என்று குறிக்கிறோம். அதாவது

$$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v} \qquad (5.1)$$

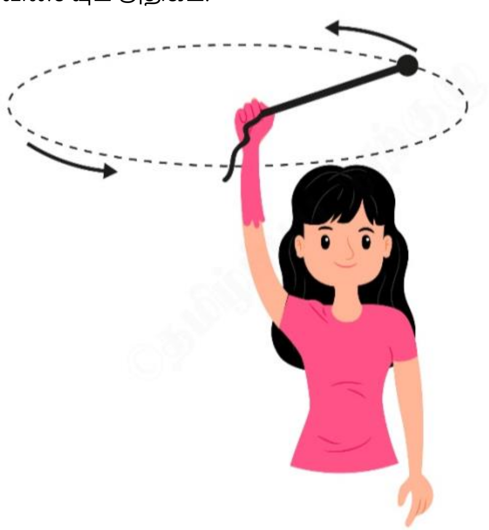
உந்தம் ஒரு திசையன் என்பது தெளிவு. கீழ்க் காணும் பொதுவான பட்டறிவுகள் அசைவுக்கான விசையின் விளைவில் இதன் முக்கியத்துவத்தை காட்டுகின்றன.

- ஒரு சிற்றெடையூர்தியும் பேரெடையூர்தியும் (சான்றாக, ஒரு சிற்றுந்தும் ஒரு சுமை யேற்றிய சுமையுந்தும்) ஒரு கிடைமட்டச் சாலையில் நிறுத்தப்பட்டுள்ளன என்று வைப்போம். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரே வேகத்துக்கு கொண்டுவர சிற்றுந்தைவிட சுமையுந்துக்கு அதிகமான விசை தேவைப்படும் என்பதை நாம் நன்கறிவோம். இதைப்போலவே, ஒரே வேகத்திலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் நிறுத்தவும் சிற்றுந்தைவிட சுமையுந்துக்கு அதிகமான விசை தேவைப்படும்.
- ஒன்று பெரிதும் மற்றது சிறிதுமான இரண்டு கற்களை ஒரு உயரத்திலிருந்து விழவிட்டால் கீழே நிற்கும் ஒருவருக்கு பெரிய கல்லை பிடிப்பதைவிட சிறிய கல்லை பிடிப்பது எளிதாயிருக்கும். ஒரு பொருளின் நிறை அதன் அசைவில் விசை செலுத்தும் விளைவை தீர்மானிக்கும் ஒரு முக்கியமான அளவுரு.
- வேகமும் நாம் கருதவேண்டிய மற்றொரு முக்கியமான அளவுரு. ஒரு எய்வியால் சுட்ட குண்டு மனிதத்தசைக்குள் புகுந்து மிகுந்த சேதத்தை உண்டாக்கவல்லது. அதே குண்டை கையால் எறிந்தால் அந்தளவுக்கு சேதம் உண்டாகாது. எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறைக்கு வேகம் அதிகரிக்கும்போது பொருளை நிறுத்த தேவையான விசையும் அதிகரிக்கிறது, நிறையையும் வேகத்தை யும் சேர்த்து கருதும்போது உந்தம் அசைவுடன் தொடர்புள்ள ஒரு அளவுரு என்பது தெளிவாகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் உந்தத்தின் மாற்றம் அதிகரிக்கும் போது செலுத்தவேண்டிய விசையும் அதிகரிக்கிறது.

படம் 5.3 விசை உந்தத்தின் மாற்றத்தை மட்டுமல்லாமல், அந்த மாற்றம் எவ்வளவு விரைவாக நிகழ்கிறது என்பதையும் சார்ந்திருக்கிறது. ஒரு பழகிய

மட்டைப்பந்தாட்டர் பந்தை பிடிக்கும்போது பந்தின் போக்கிலே கையை அசைத்து பந்தின் வேகத்தை நிறுத்த அதிக நேரத்தை செலவிடுகிறார். இதனால் சிறிய விசையே போதுமானது.

- நன்கு பழகிய ஒரு மட்டைப்பந்தாட்டர் அதிவேகத்தில் வரும் பந்தை எளிதாக பிடித்துவிடுகிறார். அதே பந்தை ஒரு தொடக்க விளையாட்டர் பிடிக்க முயலும் போது அவர்கை வலிப்பதை காண்கிறோம். இதன் காரணம் என்னவென்றால், பழகிய ஆட்டர் பந்தை நிறுத்த அதிக நேரத்தை பயன்படுத்துகிறார். பந்தை பிடிக்கும்போது கையை பின்னோக்கி அசைப்பதை நீங்கள் கவனித்திருக்கலாம் (படம் 5.3). இதன் மறுபக்கமாக ஒரு தொடக்கர் கையை நிலையாக வைத்து பந்தை ஒரே கணத்தில் பிடிக்கப்பார்க்கிறார். பந்தை உடனடியாக நிறுத்த பெரிய விசையை செலுத்த வேண்டும். இது வலியை உண்டாக்குகிறது. முடிவு மிகத்தெளிவு: விசை உந்தத்தின் மாற்றத்தை மட்டும் சாராமல் அந்த மாற்றம் எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பதையும் சார்ந்திருக்கிறது. குறுகிய காலத்தில் உந்தமாற்றத்தை ஏற்படுத்த அதிக விசையை செலுத்தவேண்டும். சுருக்கமாக, உந்தம் மாறும் வீதம் அதிகமெனில் விசையும் அதிகம்.



படம் 5.4 உந்தத்தின் பருமனளவு மாறாதபோதும் அதன் திசையை மாற்ற விசை தேவைப்படுகிறது. இதை நாம் ஒரு கல்லை ஒரு கயிற்றால் கட்டி கிடைமட்டத்தளத்தில் வட்டமாக சீரான வேகத்துடன் சுற்றும்போது உணரலாம்.

- நிறைக்கும் திசைவேகத்துக்குமான பெருக்கல் (உந்தம்) அசைவில் விசையின் விளைவுக்கு அடிப்படையானது என்பதை கண்டறிதல்கள் உறுதியாக்குகின்றன. வெவ்வேறு நிறைகளுள்ள இரண்டு பொருள்கள் தொடக்கத்தில் ஒய்வுநிலையில் இருக்கும்போது அவற்றின்மீது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்துக்கு ஒரு நிலையான விசை செயலாற்றுவதாக கொள்வோம். நேர இடைவெளியின் முடிவில், நிறைகுறைந்த பொருள் நிறைமிகுந்த பொருளைவிட அதிக வேகத்தை பெறுகிறது. ஆனால், ஒவ்வொரு பொருளும் அதே உந்தத்தை பெறுவதை கண்டறிதல்கள் காட்டுகின்றன. அதாவது, **ஒரே விசை ஒரே நேர இடைவெளியில் வெவ்வேறு பொருள்களில் ஒரே உந்தமாற்றத்தை உண்டாக்குகிறது**. இது அசைவின் இரண்டாம் விதிக்கு மிகமுக்கியமான ஒரு தூண்டல்.
- மேற்சொன்ன கண்டறிதல்களில் உந்தத்தின் திசையப்பண்பு தெளிவாகவில்லை. இதுவரை கண்ட சான்றுகளில் உந்தமும் உந்தமாற்றமும் ஒரே திசையில் இருந்தன. ஆனால் எப்போதும் அவ்வாறு இல்லை. ஒரு கல்லை ஒரு கயிற்றால் கட்டி கிடைமட்டத்தளத்தில் வட்டமாக சீரான வேகத்தில் சுற்றுவதை கருதுவோம். உந்தத்தின் பருமனளவு மாறவில்லை; ஆனால் அதன் திசை மாறுகிறது (படம் 5.4). உந்தத்திசையனில் மாற்றத்தை எற்படுத்த ஒரு விசை தேவையாகிறது. இந்த விசையை நம் கை கயிற்றின்வழி வழங்குகிறது. கல்லை அதிக வேகத்தில் சுற்றினாலோ குறைந்த ஆரமுள்ள வட்டத்தில் சுற்றினாலோ நம் கை அதிக விசையை செலுத்தவேண்டியதை நம் பட்டறிவு காட்டுகிறது. இது அதிக முடுக்கத்துக்கு நிகரானது; அதாவது உந்தத்திசையனின் அதிக மாற்றத்துக்கு நிகரானது. இது உந்தத்திசையன் மாறும் வீதம் அதிகரிக்கும்போது செலுத்த வேண்டிய விசை அதிகரிப்பதை காட்டுகிறது.

இந்த பண்பியக்கண்டறிதல்கள் அசைவின் இரண்டாம் விதியைநோக்கி நம்மை அழைத்துச் செல்கின்றன. இதை நியூட்டன் கீழ்க்காணுமாறு உரைத்தார்: **ஒரு பொருளின் உந்தம் மாறும் வீதம் செலுத்தப்படும் விசைக்கு நேர்விழுக்காட்டில் விசையின் திசையில் செயலாற்றுகிறது.**

இவ்வாறு, $\boldsymbol{F}$ என்ற ஒரு விசை Δt என்ற நேர இடைவெளியில் m என்ற நிறையுள்ள பொருளின்மீது செயலாற்றும்போது அதன் திசைவேகம் $\boldsymbol{v}$யிலிருந்து $\boldsymbol{v}+\Delta\boldsymbol{v}$க்கு மாறுவதை, அதாவது அதன் உந்தம் $\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}$ யிலிருந்து $\boldsymbol{p}+\Delta\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}+m\Delta\boldsymbol{v}$ க்கு மாறுவதை, இரண்டாம் விதி

$$\boldsymbol{F}\propto\frac{\Delta\boldsymbol{p}}{\Delta t},\qquad \text{அதாவது } \boldsymbol{F}=k\frac{\Delta\boldsymbol{p}}{\Delta t}$$

என்று தருகிறது; இங்கு, k ஒரு விழுக்காட்டு மாறிலி. $\Delta t\rightarrow 0$ என்ற எல்லையில், $\Delta\boldsymbol{p}/\boldsymbol{\Delta}t$ என்பது t யைப்பொறுத்த $\boldsymbol{p}$ யின் வகைக்கெழுவாகிறது. அதை $d\boldsymbol{p}/dt$ என்று குறிக்கிறோம். இவ்வாறு,

$$\boldsymbol{F} = k\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} \qquad (5.2)$$

என்றாகிறது. m என்ற நிலையான நிறையுள்ள ஒரு பொருளுக்கு இது

$$\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\boldsymbol{v}) = m\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = m\boldsymbol{a} \qquad (5.3)$$

என்றாகிறது. அதாவது, இரண்டாம் விதியை

$$\boldsymbol{F} = k\, m\, \boldsymbol{a} \qquad (5.4)$$

என்றும் எழுதலாம். இது விசை நிறைக்கும் (m) முடுக்கத்துக்குமான $(\boldsymbol{a})$ பெருக்கலுக்கு நேர்விழுக் காட்டில் இருப்பதை காட்டுகிறது.

இதுவரை விசையின் அலகை நாம் வரையறுக்க வில்லை. இப்போது, விசையின் அலகை வரையறுக்க (5.4) ஆம் சமன்பாட்டை பயன்படுத்தலாம். இங்கு k யின் மதிப்பை தேர்ந்துகொள்ளும் நெகிழ்மை நமக்கு இன்னும் இருக்கிறது. எனவே, எளிமையாக $k = 1$ என்று வரும்படி விசையின் அலகை தேர்ந்து கொள்ளலாம். அப்படியெனில், இரண்டாம்விதி

$$\boldsymbol{F} = \frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = m\boldsymbol{a} \qquad (5.5)$$

என்றாகிறது. அவ அலகுகளில், $1\,kg$ நிறைக்கு $1\,m\,s^{-2}$ முடுக்கத்தை வழங்கும் விசையை ஓரலகாக வரையறுத்து அதற்கு **நியூட்டன்** என்று பெயரிட்டு N என்று குறிக்கிறோம். எனவே $1\,N = 1\,kg\,m\,s^{-2}$.

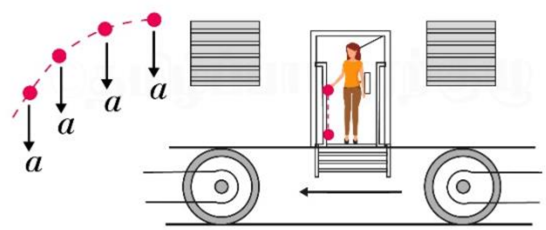
இப்போது இரண்டாம் விதியின் சில முக்கியமான புள்ளிகளை குறிப்பிடுவோம்.

- இரண்டாம் விதியில் $\boldsymbol{F} = 0$ எனில் $\boldsymbol{a} = 0$ என்பது உள்ளுரை. இவ்வாறு இரண்டாம் விதி முதல் விதியுடன் இயைவது தெளிவு.
- அசைவின் இரண்டாம் விதி ஒரு திசைய விதி. முப்பருமானத்தில் இது மூன்று சமன்பாடுக ளுக்கு சமானமாது. ஒவ்வொன்றும் ஒரு பருமானத்துக்குரியது.

$$F_x = \frac{dp_x}{dt} = ma_x, \qquad F_y = \frac{dp_y}{dt} = ma_y,$$

$$F_z = \frac{dp_z}{dt} = ma_z \qquad (5.6)$$

  இதனால், விசை பொருளின் திசைவேகத் துக்கு இணையாக இல்லாமல் ஒரு கோணத்தில் இருந்தால், அது விசையின் திசையிலுள்ள திசைவேகத்தின் அகையை மட்டுமே மாற்றுகிறது. விசையின் திசைக்கு செங்குத்தாகவுள்ள அகைகளை மாற்ற வில்லை. சான்றாக, நெடுநிற்பமான புவியீர்ப்புவிசையால் விழும் ஒரு எறிவத்தின் அசைவில் திசைவேகத்தின் கிடைமட்ட அகைகள் மாறுவதில்லை (படம் 5.5).
- (5.5) ஆம் சமன்பாட்டிலுள்ள இரண்டாம் விதியை ஒற்றைப்புள்ளித்துகளுக்கு பயனாக்கலாம். விதியிலுள்ள $\boldsymbol{F}$ என்ற விசை துகளின் நிகர புறவிசையையும் $\boldsymbol{a}$ துகளின் முடுக்கத்தையும் குறிக்கின்றன. இதே விதியை நெளியாப்பொருளுக்கும் துகள மைப்புக்கும் பயனாக்கலாம். அப்போது, $\boldsymbol{F}$ அமைப்பிலுள்ள மொத்த புறவிசையையும் $\boldsymbol{a}$ முழு அமைப்பின் முடுக்கத்தையும் குறிக்கின்றன. சரியாகச்சொன்னால், $\boldsymbol{a}$ அமைப்பின் நிறைமையத்தின் முடுக்கம். நிறைமையத்தை நாம் 7ஆம் படலத்தில் விரிவாக படிப்போம். **அமைப்பின் அகவிசைகள் ஏதுமிருந்தால் அவற்றை $\boldsymbol{F}$இல் சேர்க்கக்கூடாது.**
- அசைவின் இரண்டாம் விதி ஒரு அருகிட விதி. அதாவது, ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் துகளின் இருப்பிடமான ஒரு புள்ளியிலுள்ள விசை யான $\boldsymbol{F}$ அந்த நேரத்தில் அந்தப்புள்ளியி லுள்ள முடுக்கமான $\boldsymbol{a}$யுடன் தொடர்புள்ளது. இங்கு இப்போதுள்ள விசை இங்கு இப்போதுள்ள முடுக்கத்தை தீர்மானிக்கிறது. **இது துகளின் அசைவுவரலாற்றை சார்ந்திருக்கவில்லை** (படம் 5.5).



படம் 5.5 ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் முடுக்கத்தை அந்த நேரத்திலுள்ள விசை தீர்மானிக்கிறது. முடுக்கமடையும் ஒரு வண்டியிலிருந்து விழும் கல்லுக்கு, வளித்தடையத்தை புறக்கணித்தால், விழுந்த கணத்துக்குப்பிறகு கிடைமட்ட விசையோ முடுக்கமோ இல்லை. அதற்கு முந்திய கணம்வரை வண்டியுடன் முடுக்கமடைந்த நினைவு கல்லில் இல்லை.

சிக்கல் 5.2

$90\,m\,s^{-1}$ வேகத்தில் அசையும் $0.04\,kg$ நிறையுள்ள ஒரு எய்வக்குண்டு ஒரு நிறைமிகுந்த மரக்கட்டைக்குள் நுழைந்து $60\,cm$ சென்றபின் நிற்கிறது. கட்டை எய்வக்குண்டின்மீது செலுத்தும் சராசரித் தடையவிசை என்ன?

தீர்வு

எய்வக்குண்டின் வேகங்குறைவு (மாறிலி யாக எடுகொள்வோம்)

$$a = -\frac{u^2}{2s} = \frac{-90 \times 90}{2 \times 0.6}\,m\,s^{-2} = -6750\,m\,s^{-2}$$

இரண்டாம்விதிப்படி வேகங்குறைவு விசை

$$= 0.04\,kg \times 6750\,m\,s^{-2} = 270\,N$$

உண்மையில் தடையவிசையும் அதனால் வேகங்குறைவும் சீராக இல்லாமலிருக்கலாம். எனவே, விடை சராசரி தடையவிசையையே குறிக்கிறது.

சிக்கல் 5.3

m நிறையுள்ள ஒரு துகளின் அசைவை $y = ut + \frac{1}{2}gt^2$ தருகிறது. அதன்மீது செயலாற்றும் விசையை காண்க.

தீர்வு

$y = ut + \frac{1}{2}gt^2$ என்பதால்,

$$v = \frac{dy}{dt} = u + gt, \qquad a = \frac{dv}{dt} = g$$

விசையை (5.5)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$F = ma = mg$$

என்று பெறுகிறோம். இந்த சமன்பாடு புவியீர்ப்புமுடுக்கத்தின்கீழ் துகளின் அசைவை விவரிக்கிறது. g யின் திசையில் இடநிலையின் ஒருங்களவை y குறிக்கிறது.

5.5.2 கணத்தாக்கம்

சிலநேரங்களில் பெரிய விசைகள் மிகச்சிறு நேர இடைவெளிகளுக்கு செயலாற்றி பொருளின் உந்தத்தில் சுழியமற்ற மாற்றத்தை உண்டாக்குவதை எதிர்கொள்கிறோம். சான்றாக, ஒரு பந்து சுவரில் மோதி மீளும்போது சுவரின் விசை பந்தில் அவை தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் மிகச்சிறு நேரத்துக்கே செயலாற்றுகிறது. எனினும் விசை பந்தின் திசையை திருப்ப போதுமானது. இதுபோன்ற பல நிலைமைகளில் விசையையும் நேர இடைவெளியையும் தனித்தனியே உறுதியிடுவது கடினம். ஆனால் விசைக்கும் நேரத்துக்குமான பெருக்கலுக்கு சமமான உந்தமாற்றத்தை அளக்கவியலும். இந்த பெருக்கலை கணத்தாக்கம் என்று அழைக்கிறோம்.

கணத்தாக்கம்
= விசை × நிகழ்நேரம் (5.7)
= உந்தமாற்றம்

குறுகிய நேரத்துக்கு செயலாற்றி உந்தத்தில் சுழியமற்ற மாற்றத்தை உண்டாக்கும் பெரிய விசையை கணத்தாக்கவிசை என்கிறோம். அறிவியலின் வரலாற்றில் கணதாக்கவிசைகள் இயல்பான விசைகளிலிருந்து கொள்கையளவில் வேறு வகைப்பாட்டில் வைக்கப்பட்டன. நியூட்டனின் எந்திரவியலில் இந்த வேறுபாடு இல்லை. கணத்தாக்கவிசை வேறெந்த விசையையும் போன்றதே. அது பெரிதாயிருப்பதும் குறுகிய நேரத்துக்கு செயலாற்றுவதுமே வேறுபாடுகள்.

சிக்கல் 5.4

ஒரு மட்டைப்பந்தடிப்பவர் பந்தை அதன் தொடக்கவேகமான $12\,m\,s^{-1}$ ஐ மாற்றாமல் நேராக பந்துவீசுபவரைநோக்கி திருப்பியடிக்கிறார். பந்தின் நிறை $0.15\,kg$ எனில், பந்துக்கு வழங்கிய கணத்தாக்கத்தை தீர்மானிக்க. (பந்து நேர்ப்பாதையில் அசைவதாக கொள்க.)

தீர்வு

உந்தத்தில் மாற்றம்

$$= 0.15 \times 12 - (-0.15 \times 12)\,N\,s$$
$$= 3.6\,N\,s$$

எனவே, கணத்தாக்கம் $3.6\,N\,s$, பந்தடிப்பவரிடமிருந்து பந்துவீசுபவரைநோக்கி.

இந்த சான்றில், பந்தில் பந்தடிப்பவர் செலுத்தும் விசையையும் தொடுகை நேரத்தையும் அறிவது கடினம் எனினும் கணத்தாக்கத்தை கணக்கிடுவது எளிது.

5.6 நியூட்டனின் மூன்றாம் அசைவுவிதி

இரண்டாம் விதி ஒரு பொருளின்மீதுள்ள விசைக்கும் அதன் முடுக்கத்துக்குமுள்ள உறவை தருகிறது. இந்த விசை எங்கிருந்து வருகிறது? இந்த புறவிசையை வழங்கும் முகவம் எது? நியூட்டனின் எந்திரவியலில் ஒரு பொருளின் மீதான புறவிசை எப்போதும் மற்றொரு பொருளிலிருந்து எழுகிறது என்பதே எளிய விடை. A, B என்ற இரண்டு பொருள்களை கருதுக. A யின்மீது B ஒரு புறவிசையை செலுத்துகிறது. B யின்மீது A யும் ஒரு புறவிசையை செலுத்துகிறதா என்பது ஒரு இயல்பான கேள்வி. சில சான்றுகளில் விடை தெளிவானதாக தோன்றுகிறது. ஒரு விற்சுருளை அழுத்தினால் நம் கையின் விசையால் வில் அமுங்குகிறது. இவ்வாறு அமுங்கும் வில் கையில் ஒரு விசையை செலுத்துகிறது. இதை நாம் உணர்கிறோம். ஆனால் பொருள்கள் தொடாமலிருந்தால்? புவி தன் ஈர்ப்பால் ஒரு கல்லை கீழ்நோக்கி இழுக்கிறது. கல்லும் புவியின்மீது ஒரு விசையை செலுத்துகிறதா? இங்கு விடை தெளிவில்லை. புவியின்மீது கல்லுக்கு உள்ள விளைவை நாம் காண்பதில்லை. நியூட்டனின் எந்திரவியலின்படி ஆம் என்பதே விடை. கல் புவியின்மீது சமமானதும் எதிர்த்திசையதுமான ஒரு விசையை செலுத்துகிறது. மிகப்பெரும் புவியின்மீது மிகச்சிறு கல் உண்டாக்கும் விளைவு புறக்கணிக்கத்தக்கவகையில் சிறியது என்பதால் நாம் இதை உணர்வதில்லை.

இவ்வாறு, நியூட்டனின் எந்திரவியலின்படி, விசை இயற்கையில் ஒற்றையாக இருப்பதில்லை. விசை என்பது பொருள்கள் ஒன்றுக்கொன்று செலுத்தும் இடைவினை. விசைகள் எப்போதும் சோடியாகவே நிகழ்கின்றன. மேலும், இரண்டு பொருள்களிடையிலுள்ள ஒன்றுக்கொன்றான விசைகள் எப்போதும் சமமாகவும் எதிரெதிர்த்திசையிலும் இருக்கின்றன. இந்த கருத்தை நியூட்டன் அசைவின் மூன்றாம் விதியாக உரைத்தார்.

ஒவ்வொரு வினைக்கும் எதிர்த்திசையில் ஒரு சமமான எதிர்வினை எப்போதும் உண்டு.

நியூட்டன் இந்த மூன்றாம் விதியை சொன்ன விதம் பொதுமக்களிடம் பழக்கத்தில் வருமளவுக்கு சுருக்கமும் இனிமையுமானது.

ஒருவேளை மூன்றாம் விதியைப்பற்றிய தவறான புரிதல்கள் இருப்பதும் இதே காரணத்தினால் இருக்கலாம். மூன்றாம் விதியைப்பற்றி, முக்கியமாக வினை, எதிர்வினை என்ற சொற்களைப்பற்றி, சில முக்கியமான உண்மைகளை நோக்குவோம்.

- மூன்றாம் விதியில் வரும் வினை, எதிர்வினை என்ற சொற்கள் விசையையே குறிக்கின்றன. ஒரே இயற்கருத்துருவை குறிக்க வெவ்வேறு சொற்களை பயன்படுத்துவது சிலநேரங்களில் குழப்பத்தை உண்டாக்கலாம். மூன்றாம் விதியை உரைக்க ஒரு எளிய தெளிவான வழி கீழ்வருமாறு: விசைகள் எப்போதும் சோடியாகவே காணப்படுகின்றன. $\boldsymbol{A}$யின்மீது $\boldsymbol{B}$ செலுத்தும் விசை $\boldsymbol{B}$ யின் மீது $\boldsymbol{A}$ செலுத்தும் விசைக்கு சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கிறது.
- வினை, எதிர்வினை என்ற சொற்கள் வினை எதிர்வினைக்கு முன்பு நிகழ்வதாக ஒரு தவறான எண்ணத்தை தரலாம். அதாவது வினை எதிர்வினையின் காரணம் என்ற கருத்தை தரலாம். **மூன்றாம் விதியில் காரணவிளைவு என்ற உள்ளுரை இல்லை. $\boldsymbol{A}$ யின்மீது $\boldsymbol{B}$ செலுத்தும் விசையும் $\boldsymbol{B}$ யின்மீது $\boldsymbol{A}$ செலுத்தும் விசையும் ஒரே நேரத்தில் நிகழ்கின்றன**. இதே காரணத்துவத்தால், இவற்றுள் எதையும் வினை என்றோ எதிர்வினை என்றோ அழைக்கலாம்.
- வினை, எதிர்வினை ஆகிய விசைகள் வெவ்வேறு பொருள்களில் செயலாற்றுகின்றன; ஒரே பொருளில் செயலாற்றவில்லை. A, B என்ற ஒரு சோடி பொருள்களை கருதுக. மூன்றாம் விதிப்படி

$$\boldsymbol{F}_{AB} = -\boldsymbol{F}_{BA} \qquad (5.8)$$

(A யின்மீது B யின் விசை) = – (B யின்மீது Aயின் விசை)

இவ்வாறு, ஏதாவது ஒரு பொருளின் (Aயோ Bயோ) அசைவை நாம் கருதினால், இவற்றுள் ஒரு விசையே தொடர்பானது. இரண்டு விசைகளையும் சேர்த்துக்கூட்டி நிகரவிசை சுழியம் என்று சொல்வது தவறு.

ஆனால், இரண்டு பொருள்களின் அமைப்பை மொத்தமாக கருதினால் $\boldsymbol{F}_{AB}$, $\boldsymbol{F}_{BA}$ ஆகியவை $(A + B)$ என்ற அமைப்பின் அகவிசைகள். அவை சேர்ந்து சுழியவிசையை தருகின்றன. இவ்வாறு, ஒரு பொருளிலோ அமைப்பிலோ உள்ள அகவிசைகள் சோடியாக ஒன்றையொன்று நீக்கிவிடுகின்றன. இந்த முக்கியமான உண்மை இரண்டாம் விதியை ஒரு பொருளுக்கோ துகளமைப்புக்கோ பயனாகச் செய்கிறது (படலம் 7).

ஐசக்கு நியூட்டன் (1642-1727)

ஐசக்கு நியூட்டன் இங்கி லாந்திலுள்ள ஊல்சுதார்ப்பில் கலிலியோ இறந்த ஆண்டான 1642இல் பிறந்தார். பள்ளிநாட்களில் அவரது கணிதத்திறமையும் ஆர்வமும் மற்றவர்களுக்கு தெரியாமல் மறைந்திருந்தன. 1662இல் இளம்பட்டப்படிப்புக்கு கேம்பிரிசுக்கு சென்றார். 1665இல் ஏற்பட்ட கொள்ளைநோயின் பெருந்தொற்றால் பல்கலைக்கழகம் மூடப்பட்டதால், நியூட்டன் தன் தாயாரின் பண்ணைக்கு திரும்பினார். அங்கு இரண்டாண்டுகளாக தனிமையிலிருந்தபோது மறைந்து கிடந்த அவரது ஆக்குமை மலர்ந்து கணிதத்திலும் இயற்பியலிலும் அடிப்படையான கண்டுபிடிப்புகளாக பெருக்கெடுத்தது.

இந்த கண்டுபிடிப்புகள் எதிர்ம அடுக்கக் குறிக்கும் பின்ன அடுக்கக் குறிக்குமான ஈருறுப்புத் தேற்றம், நுண்கணிதத்தின் தொடக்கம், நிறையீர்ப்பின் புரட்டுவர்க்க விதி, வெள்ளொளியின் நிறநிரல், இன்ன பிற புலங்களில் இருந்தன. கேம்பிரிசுக்கு திரும்பியதும் ஒளியியலில் தம் ஆய்வுகளை மேற்கொண்டு ஒரு எதிரொளிக்கும் தொலைநோக்கியை வடிவமைத்தார்.

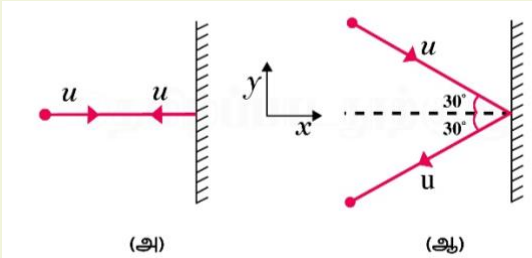
1684இல் எடுமண்டு ஏலி என்ற நண்பரால் ஊக்கப்பட்டு, நியூட்டன் மாபெரும் அறிவியற்களஞ்சியமான *கணித அடிக்கொள்கைகள்* என்ற நூலை எழுதினார். அதில் அசைவின் மூன்று விதிகளையும் நிறையீர்ப்பின் அனைத்துவ விதியையும் தெளிவாக உரைத்தார். நிறையீர்ப்பின் விதி கோள்களின் அசைவைப்பற்றிய கெப்பிளரின் மூன்று விதிகளையும் விளக்கியது. இந்த நூலில் பாய்ம எந்திரவியலின் அடிப்படைக் கொள்கைகள், அலையசைவின் கணிதம், புவி, கதிரவன், மற்ற கோள்கள் போன்றவற்றின் நிறையை கணக்கிடுதல், சமநாட்களின் சாய்சுழற்சி, ஓதங்களின் கோட்பாடு, இன்ன பிற முன்னணிச்சாதனைகள் அடங்குகின்றன. 1704இல் நியூட்டன் ஒளியியல் என்ற மற்றொரு சிறந்த நூலை வெளியிட்டார். இதில் ஒளியையும் நிறத்தையும் பற்றிய தன் ஆய்வுகளை வெளியிட்டார்.

கோப்பர்நிக்கசு தொடக்கிவிட்டு கெப்பிளரும் கலிலியோவும் நடத்திச்சென்ற அறிவியற் புரட்சியை நியூட்டன் ஒரு மாபெரும் முடிவுக்கு கொண்டுவந்தார். நியூட்டனின் எந்திரவியல் புவித்தோற்றப்பாடுகளையும் வானத்தோற்றப்பாடுகளையும் ஒன்றுசேர்த்தது. ஒரே கணிதச்சமன்பாடு ஆப்பிள் தரையில் விழுவதையும் புவியை நிலா சுற்றுவதையும் விளக்கியது. காரணத்துவ உகம் இவ்வாறு விடிந்தது.

சிக்கல் 5.5

இரண்டு பில்லியட்டுப்பந்துகள் படம் 5.6இல் காட்டியபடி வெவ்வேறு திசைகளில் ஒரே வேகத்தில் ஒரு நெளியாச்சுவரில் பட்டு வேகம் மாறாமல் மீள்கின்றன. (1) ஒவ்வொரு பந்தும் சுவரில் செலுத்தும் விசையின் திசை என்ன? (2) சுவர் பந்துகளுக்கு வழங்கும்

கணத்தாக்கத்தின் பருமனளவுகளின் விகிதம் என்ன?



படம் 5.6

தீர்வு

முதற்கேள்விக்கு ஒரு இயல்பூக்க விடை சுவரின்மீதான விசை (அ)வில் செங்குத்தாகவும் (ஆ)வில் $30°$ சாய்ந்தும் இருக்கிறது என்பதாயிருக்கலாம். ஆனால் இது தவறு. இரண்டு வேற்றுவங்களிலும் சுவரின்மீதான விசை சுவருக்கு செங்குத்தானதே.

சுவரின்மீதான விசையை காண்பது எப்படி? இதற்கான உத்தி என்னவென்றால், சுவரால் பந்தில் ஏற்படும் விசையை (கணத்தாக்கத்தை) இரண்டாம் விதியால் கருதி, மூன்றாம் விதியால் முதற்கேள்விக்கு விடையளிக்கலாம். சுவரில் மோதுவதற்கு முன்னும் பின்னும் ஒவ்வொரு பந்தின் வேகமும் u எனவும் ஒவ்வொரு பந்தின் நிறையும் m எனவும் கொள்க. படத்தில் காட்டியபடி x,yஅச்சுகளை தேர்ந்து ஒவ்வொரு வேற்றுவத்திலும் பந்தின் உந்தமாற்றத்தை கருதுக.

வேற்றுவம் (அ)

$$p_{x\text{தொ}} = m\,u, \qquad p_{y\text{தொ}} = 0$$

$$p_{x\text{இ}} = -m\,u, \qquad p_{y\text{இ}} = 0$$

கணத்தாக்கம் உந்தத்திசையனின் மாற்றம்; இங்கு தொ, இ என்ற அடியொட்டுகள் முறையே தொடக்க நிலையையும் இறுதி நிலையையும் குறிக்கின்றன. எனவே

கணத்தாக்கத்தின் xஅகை $= -2\,m\,u$

கணத்தாக்கத்தின் yஅகை $= 0$

கணத்தாக்கமும் விசையும் ஒரே திசையில் உள்ளவை. மேற்காண்பதிலிருந்து சுவர் பந்துக்கு வழங்கும் விசை சுவருக்கு செங்குத்தாக இருப்பது தெளிவாகிறது; அதாவது எதிர்ம x திசையில் இருக்கிறது. அசைவுக்கான நியூட்டனின் மூன்றாம் விதி பந்து சுவருக்கு வழங்கும் விசை நேர்ம x திசையிலுள்ளது என்கிறது. விசையின் பருமனளவை நாம் அறியவியலாது; ஏனெனில் மோதல் நிகழும் சிறு நேரத்தை கேள்வியில் சொல்லவில்லை.

வேற்றுவம் (ஆ)

$p_{x\text{தொ}} = m\,u$ உவவி $30°$,

$p_{y\text{தொ}} = -m\,u$ வவி $30°$,

$p_{x\text{இ}} = -m\,u$ உவவி $30°$,

$p_{y\text{இ}} = -m\,u$ வவி $30°$

மோதலுக்குப்பின் p_x திசைமாறுவதையும் p_y மாறாததையும் நோக்குக. எனவே

கணத்தாக்கத்தின் x அகை $= -2\,m\,u$ உவவி $30°$

கணத்தாக்கத்தின் yஅகை $= 0$

கணத்தாக்கத்தின் (விசையின்) திசை வேற்றுவம் (அ)விலுள்ளதே; அதாவது சுவருக்கு செங்குத்தான எதிர்ம xதிசை. முன்புபோலவே நியூட்டனின் மூன்றாம் விதியை பயன்படுத்தி பந்தால் சுவரின்மீதான விசை நேர்ம xதிசையில் உள்ளதாக அறிகிறோம்.

(அ), (ஆ) வேற்றுவங்களில் பந்துகள் உணரும் கணத்தாக்கங்களின் விகிதம்

$$\frac{2\,m\,u}{2\,m\,u\text{ உவவி }30°} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.2$$

5.7 உந்தத்தின் அழியாக்காப்பு

இரண்டாம், மூன்றாம் விதிகளின் ஒரு முக்கியமான பின்விளைவாக உந்தத்தின் அழியாக்காப்பு எனும் விதி கிடைக்கிறது. நாம் நன்கறிந்த ஒரு சான்றை எடுத்துக்கொள்வோம். ஒரு எய்வியிலிருந்து ஒரு குண்டு எய்யப்படுகிறது. குண்டின்மீது எய்வி செலுத்தும் விசை $\boldsymbol{F}$ எனில், மூன்றாம் விதிப்படி, குண்டு எய்வியின்மீது செலுத்தும் விசை $-\boldsymbol{F}$. இரண்டு விசைகளும் Δt என்ற நேரத்துக்கு செயலாற்றுகின்றன. இரண்டாம் விதியின்படி, $\boldsymbol{F}\Delta t$ குண்டின் உந்தமாற்றம்; $-\boldsymbol{F}\Delta t$ எய்வியின் உந்தமாற்றம். தொடக்கத்தில் இரண்டும் ஓய்விலிருப்பதால், ஒவ்வொன்றுக்கும் உந்தமாற்றம் இறுதியுந்தத்துக்கு சமம். இவ்வாறு, எய்தபின் $\boldsymbol{p}_{\text{கு}}$ என்பது குண்டின் உந்தம், $\boldsymbol{p}_{\text{எ}}$ எய்வியின் பின்னுந்தம் எனில், $\boldsymbol{p}_{\text{எ}} = -\boldsymbol{p}_{\text{கு}}$. அதாவது, $\boldsymbol{p}_{\text{கு}} + \boldsymbol{p}_{\text{எ}} = 0$. எய்வியும் குண்டும் சேர்ந்த அமைப்பின் மொத்த உந்தம் மாறாமலிருக்கிறது.

இவ்வாறு, ஒரு தனியமைப்பில் (புறவிசை இல்லாத அமைப்பில்) அமைப்பிலுள்ள சோடித் துகள்களிடையில் ஒன்றுக்கொன்றான விசைகள் தனித்துகள்களில் உந்தமாற்றத்தை உண்டாக்கலாம். ஆனால், ஒவ்வொரு சோடிக்கும் ஒன்றுக் கொன்றான விசைகள் சமமாகவும் எதிரெதிர்த் திசையிலும் இருப்பதால், உந்தமாற்றங்கள் சோடியாக நீங்கி அமைப்பின் மொத்த உந்தமாற்றம் மாறாமலிருக்கிறது. இதை **உந்தத்தின் அழியாக்காப்புவிதி** என்கிறோம்.

இடைவினையாற்றும் துகள்களடங்கிய தனியமைப்பின் மொத்த உந்தம் அழியாக் காப்புறுகிறது.

உந்தத்தின் அழியாக்காப்புவிதி பயன்படுவதன் ஒரு சான்று இரண்டு பொருள்களின் மோதல். A , B என்ற இரண்டு பொருள்களின் தொடக்க

உந்தம் $\boldsymbol{p}_A, \boldsymbol{p}_B$ என்க. பொருள்கள் மோதிப்பிரிந்த பின் இறுதி உந்தங்கள் $\boldsymbol{p}'_A, \boldsymbol{p}'_B$ என்க. இரண்டாம் விதிப்படி

$$\boldsymbol{F}_{AB}\Delta t = \boldsymbol{p}'_A - \boldsymbol{p}_A, \qquad \boldsymbol{F}_{BA}\Delta t = \boldsymbol{p}'_B - \boldsymbol{p}_B$$

இங்கு இரண்டு விசைகளுக்கும் பொதுவான நேர இடைவெளியை, அதாவது இரண்டு பொருள்களும் தொடுகையிலிருக்கும் நேரத்தை, Δt என்று குறித்திருக்கிறோம். மூன்றாம் விதிப்படி $\boldsymbol{F}_{AB} = -\boldsymbol{F}_{BA}$ என்பதால், $\boldsymbol{p}'_A - \boldsymbol{p}_A = -(\boldsymbol{p}'_B - \boldsymbol{p}_B)$; அதாவது

$$\boldsymbol{p}'_A + \boldsymbol{p}'_B = \boldsymbol{p}_A + \boldsymbol{p}_B \qquad (5.9)$$

இது தனியமைப்பின் மொத்த உந்தம் தொடக்கத்திலும் இறுதியிலும் சமம் என்று காட்டுகிறது. மோதல் மீண்மமானதெனினும் மீண்மமற்றதெனினும் இது உண்மை என்பதை நோக்குக. மீண்ம மோதல்களில் மற்றொரு நிபந்தனை இருக்கிறது: அமைப்பின் மொத்த இயக்க வாற்றல் மோதலுக்கு முன்பும் பின்பும் சமம் (6ஆம் படலம்).

5.8 ஒரு துகளின் சமநிலை

எந்திரவியலில் ஒரு துகளின் சமநிலை என்பது துகளின்மீதுள்ள நிகர புறவிசை சுழியமாகும் நிலைமையை குறிக்கிறது[1]. முதல் விதியின்படி, துகள் ஓய்விலோ சீரான நேர்க்கோட்டசைவிலோ இருக்கிறது என்று பொருளாகிறது.

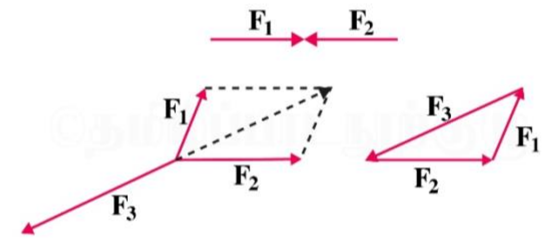
$\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$ ஆகிய விசைகள் ஒரு துகளின்மீது செயலாற்றும்போது சமநிலைக்கு

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2 \qquad (5.10)$$

என்பது தேவை. அதாவது, துகள்மீதுள்ள இரண்டு விசைகளும் சமமாகவும் எதிரெதிர்த்திசைகளிலும் இருக்கவேண்டும். பொதுப்புள்ளியில் செயலாற்றும் $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_3$ ஆகிய மூன்று விசைகள் இருந்தால், சமநிலையில் அவற்றின் திசையக் கூட்டல் சுழியமாகவேண்டும்.

$$\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \boldsymbol{F}_3 = 0 \qquad (5.11)$$

வேறுவிதமாகச்சொன்னால், ஏதாவது இரண்டு விசைகளின் விளைவுமம் மூன்றாவதற்கு சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கவேண்டும். சான்றாக, $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$ ஆகியவற்றின் விளைவுமம் இணைகரவிதியால் படம் 5.7இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இது $\boldsymbol{F}_3$யின் அளவில் அதற்கு எதிர்த்திசையில் இருப்பதை நோக்குக. சமநிலையிலுள்ள மூன்று விசைகளும் ஒரு முக்கோணத்தின் பக்கங்களாக ஒரே சுழல்வசத்தில் இருப்பதையும் படம் காட்டுகிறது. இந்த முடிவை பல விசைகளுக்கும் நீட்டலாம். சமநிலையிலுள்ள ஒரு துகளின்மீது செயலாற்றும் $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots \boldsymbol{F}_n$ ஆகிய n விசைகளை ஒரு மூடிய n பக்கப்பலகோணத்தின் பக்கங்களாக திசைகள் ஒரே சுழல்வசத்தில் இருக்குமாறு வைக்க இயலுமெனில், அந்த துகள் சமநிலையிலுள்ளது.



படம் 5.7 பொதுப்புள்ளிவிசைகளின்கீழ் சமநிலை

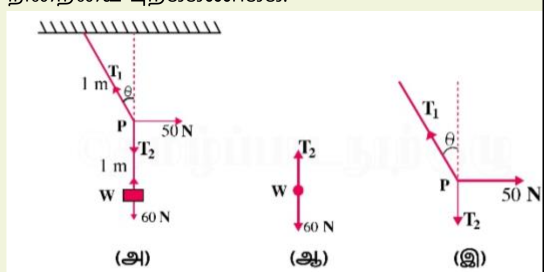
(5.11)ஆம் சமன்பாடு

$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0, \qquad F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 0,$$
$$F_{1z} + F_{2z} + F_{3z} = 0 \qquad (5.12)$$

என்பதை உள்ளுரைக்கிறது; இங்கு F_{1x}, F_{1y}, F_{1z} ஆகியவை x, y, z திசைகளில் $\boldsymbol{F}_1$ இன் அகைகள்; இவ்வாறே மற்ற இரண்டு திசையன்களுக்கும்.

சிக்கல் 5.6

படம் 5.8(அ)வை காண்க. $6\,kg$ நிறையை $2\,m$ நீளமுள்ள ஒரு கயிற்றில் கட்டி கூரையிலிருந்து தொங்கவிடுகிறோம். கயிற்றின் நடுப்புள்ளியில் $50\,N$ விசையை படத்தில் காட்டியபடி கிடைமட்டமாக செலுத்துகிறோம். சமநிலையில் கயிறு நெடுநிற்பத்துடன் தாங்கும் கோணம் என்ன? ($g = 10\,m\,s^{-2}$ எனக்கொள்க.) கயிற்றின் நிறையை புறக்கணிக்க.



படம் 5.8

தீர்வு

படம் 5.8(ஆ)வையும் படம் 5.8(இ)யையும் தனிப்பொருட்படவரைவு என்று அழைக்கிறோம். படம் 5.8(ஆ) W வின் தனிப்பொருட்படவரைவு; படம் 5.8(இ) P என்ற புள்ளியின் தனிப்பொருட்படவரைவு.

W என்ற எடையின் சமநிலையை கருதுக. $T_2 = 6 \times 10\,N = 60\,N$ என்பது தெளிவு.

P யின் சமநிலையை கருதுக. இந்த புள்ளியில் மூன்று விசைகள் செயலாற்றுகின்றன. அவை T_1, T_2 ஆகிய விறைப்புகளும்

[1] *ஒரு பொருளின் சமநிலைக்கு நகர்வுச்சமநிலை (நிகரப்புறவிசை சுழியம்) மட்டுமல்லாமல் சுழற்சிச்சமநிலையும் (நிகரப்புறக்கோணவிசை சுழியம்) தேவை.*

கிடைமட்ட விசையான $50\ N$ உம். விளைவும விசையின் கிடைமட்ட அகையும் நெடுநிற்ப அகையும் தனித்தனியே சுழியமாகவேண்டும்.

T_1 உவவி $\theta = T_2 = 60\ N,\qquad T_1$ வவி $\theta = 50\ N$

இதிலிருந்து

$$\text{தொவி}\ \theta = \frac{50}{60},\qquad \theta = \text{தொவி}^{-1}\left(\frac{5}{6}\right) = 40°$$

என்று பெறுகிறோம். விடை கயிற்றின் நீளத்தை சார்ந்திருக்கவில்லை என்பதை நோக்குக. (கயிறு நிறையற்றது என்று எடுகொள்கிறோம்.); அது கிடைமட்ட விசை செயலாற்றும் புள்ளியையும் சார்ந்திருக்க வில்லை.

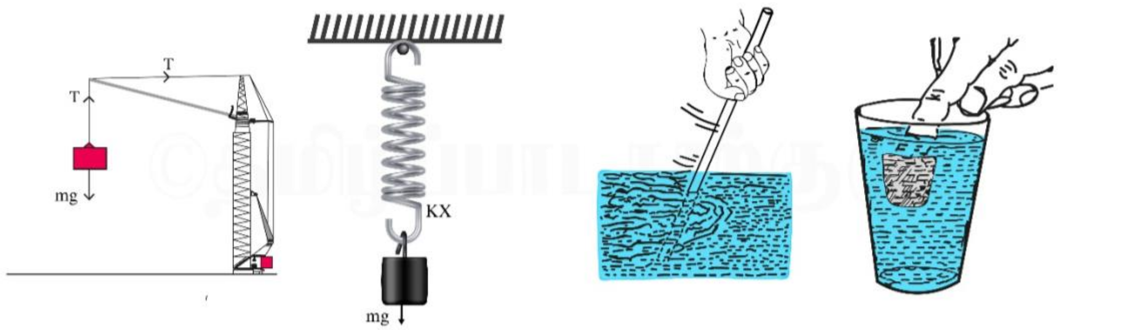
5.9 எந்திரவியலில் எழும் வழக்கமான விசைகள

எந்திரவியலில் பலவிதமான விசைகளை எதிர்கொள்கிறோம். நிறையீர்ப்புவிசை எங்கு முள்ளது. புவிமீதுள்ள எந்தப்பொருளும் புவியீர்ப்பை (புவியின் நிறையீர்ப்பை) உணர்கிறது. நிறையீர்ப்பு வானப்பொருள்களின் அசைவுகளையும் ஆள்கிறது. நிறையீர்ப்புவிசை இடைப்படும் ஊடகம் இல்லாமலே தொலைவில் செயலாற்றக்கூடியது.

மின்மத்துகள்களிடையிலும் காந்தப் பொருள்களிடையிலும் தொலைவில் செயலாற் றும் விசைகளை நீங்கள் மேல்வகுப்பில் படிப்பீர்கள்.

எந்திரவியலில் பொதுவாக இடம்பெறும் மற்ற எல்லா விசைகளும் தொடுகைவிசைகள். அதாவது இந்த விசைகள் திண்மமோ பாய்மமோவான ஒரு பொருள் மற்றொரு பொருளை தொடும்போதே செயலாற்றுகின்றன. பொருள்கள் தொட்டுக்கொண் டிருக்கும்போது (சான்றாக, மேசையிலுள்ள புத்தகம், கோல்களால் இணைந்த நெளியாப்பொருள் களின் அமைப்பு, கீல்கள், மற்ற மாட்டிகள்) பொருள்களின் ஒவ்வொரு சோடிக்குமிடையில் மூன்றாம் விதியை நிறைவேற்றும் தொடுகை விசைகள் உள்ளன. தொடுகைப்பரப்புக்கு செங்குத்தான விசையகையை செங்குத்தான எதிர்வினை என்கிறோம். பரப்புக்கு இணையான அகையை உராய்வு என்கிறோம். திண்மங்கள் பாய்மங்களை தொடும்போதும் தொடுகைவிசை கள் எழுகின்றன. சான்றாக, ஒரு பாய்மத்தில் மூழ்க்கிய திண்மத்துக்கு விலக்கப்பட்ட பாய்மத்தின் எடைக்கு சமமான மேனோக்கிய மிதப்புவிசை உள்ளது. பாகுமை விசையும் வளித்தடையமும் தொடுகைவிசைக்கு சான்றுகள் (படம் 5.9).

ஒரு சரத்திலுள்ள விறைப்பும் விற்சுருளின் விசையும் விசைகளுக்கு மேலும் இரண்டு சான்றுகள். ஒரு விற்சுருளை அமுக்கும்போதோ நீட்டும்போதோ மீளமைவிசையாக ஒரு புறவிசை உண்டாகிறது. இந்த விசை (சிறு இடப்பெயர்ச்சிகளுக்கு) அமுக்கத்துக்கோ நீட்சிக்கோ நேர்விழுக்காடானது**.** விற்சுருளின் விசையை $F = -k\ x$ என்று எழுதலாம்; இங்கு, x இடப்பெயர்ச்சி; k விசைமாறிலி. எதிர்மக்குறி விசை நீட்சியடையாத நிலையிலிருந்து விலகிய இடப்பெயர்ச்சிக்கு எதிர்த்திசையில் இருப்பதை காட்டுகிறது. நீட்டக்கடினமான ஒரு சரத்துக்கு விசைமாறிலி மிக அதிகம். சரத்திலுள்ள மீளமைவிசையை விறைப்பு என்கிறோம். சரத்தின் முழு நீளத்துக்கும் T என்ற ஒரு மாறா விறைப்பை பயன்படுத்துவது வழக்கம். இந்த எடுகோள் புறக்கணிக்கத்தக்க நிறையுள்ள சரத்துக்கு சரியானது.



படம் 5.9 எந்திரவியலில் எழும் தொடுகைவிசைக்கு சில சான்றுகள்

முதற்படலத்தில் இயற்கையில் நான்கு அடிப்படைவிசைகள் இருப்பதாக கற்றோம். இவற்றுள், மென்விசையும் வன்விசையும் தோன்றும் புலங்கள் இங்கு நமக்கு ஆர்வமானவை அல்ல. நிறையீர்ப்புவிசையும் மின்காந்தவிசையுமே எந்திரவியலுக்கு தொடர் பானவை. மேற்சொன்ன தொடுகைவிசைகள் அடிப்படையில் மின்காந்த விசைகளிலிருந்தே எழுகின்றன. இது வியப்பூட்டுவதாயிருக்கலாம்; ஏனெனில், எந்திரவியலில் நாம் மின்மமற்றதும் காந்தமற்றதுமான பொருள்களையே கருதுகி றோம். எல்லாப்பொருள்களும் நுண்ணளவ மட்டத்தில் அணுக்கருவும் எதிர்மின்னிகளுமான மின்னூட்டமுள்ள உள்ளடங்கிகளால் ஆனவை. பொருள்களின் மீண்மம், மூலக்கூறுமோதல்கள், தாக்கங்கள் இன்ன பிறவற்றிலிருந்து எழும் பலவிதமான தொடுகைவிசைகளை இறுதியில் வெவ்வேறு பொருள்களின் மின்ம உள்ளடங்கிக ளிடையான மின்விசைகளால் புரிந்துகொள்ள லாம். ஆனால் இந்த விசைகளின் விவரமான நுண்ணளவ மூலங்கள் உட்சிக்கலானவை; பருமளவ மட்டத்தில் எந்திரவியற்சிக்கல்களை

கையாள்வதில் அவை பயனுள்ளவையல்ல. இதனாலே இவற்றை பரிசோதனையால் தீர்மானித்த சிறப்பியல்பான பண்புகளுள்ள வேறுவிதமான விசைகளாக பாவிக்கிறோம்.

5.9.1 உராய்வு

கிடைமட்ட மேசையில் ஓய்விலிருக்கும் m நிறையுள்ள பொருளின் சான்றுக்கு திரும்புவோம். புவியீர்ப்பின் விசையை (mg) மேசையின் செங்குத்தான எதிர்வினை (N) நீக்குகிறது. இப்போது F என்ற கிடைமட்ட விசையை பொருளின்மீது செலுத்துவதாக கொள்வோம். ஒரு சிறு விசை பொருளை நகர்த்த போதாமலிருக்கலாம் என்பதை நம் பட்டறிவிலிருந்து அறிகிறோம். ஆனால், செலுத்திய F என்ற விசை மட்டுமே பொருளில் செயலாற்றும் புறவிசையாயிருந்தால், இது எவ்வளவு சிறிதாயிருந்தாலும் பொருள் F/m என்ற முடுக்கத்துடன் அசையவேண்டும். பொருள் ஓய்வில் நிலைப்பதால் கிடைமட்டத் திசையில் F ஐ எதிர்க்கும் வேறொரு விசை செயலாற்றி நிகர விசையை சுழியமாக்குவது தெளிவாகிறது. மேசையுடன் தொடுகையிலிருக்கும் பொருளின் பரப்புக்கு இணையான இந்த விசையை உராய்வுவிசை என்றோ உராய்வு என்றோ அழைத்து $\boldsymbol{f}_{\text{நி}}$ என்று குறிக்கிறோம் (படம் 5.10(அ)). நி என்ற அடியொட்டு நிலைமவுராய்வை குறிக்கிறது. இதை நாம் பிறகு படம் 5.10(ஆ)வில் காணப்போகும் இயக்கவுராய்வான $\boldsymbol{f}_{\text{இ}}$ யிலிருந்து வேறுபடுத்தவேண்டும். நிலைமவுராய்வு தானாகவே இருப்பதில்லை என்பதை நோக்குக. செலுத்திய விசை இல்லாதபோது நிலைமவுராய்வு இல்லை. செலுத்திய விசை எழுந்தவுடன் நிலைமவுராய்வும் எழுகிறது. செலுத்திய விசையான F அதிகரிக்கும்போது $f_{\text{நி}}$ யும் அதிகரித்து செலுத்திய விசைக்கு சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் இருந்து பொருளை ஓய்வில் வைத்திருக்கிறது. இது ஒரு எல்லைவரை தொடர்கிறது. இந்த விசையை **நிலைமவுராய்வு** என்கிறோம். நிலைமவுராய்வு வரப்போகும் அசைவை எதிர்க்கிறது. இங்கு வரப்போகும் அசைவு என்பது உராய்வு இல்லாவிட்டால் செலுத்திய விசையால் நிகழக்கூடிய (உண்மையில் நிகழாத) அசைவை குறிக்கிறது.

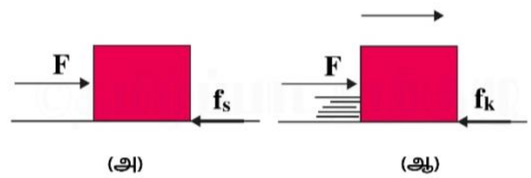
செலுத்திய விசை ஒரு எல்லையை தாண்டும்போது பொருள் அசையத்தொடங்குவதை நம் பட்டறிவிலிருந்து அறிகிறோம். இந்த மீப்பெரும மதிப்பை $\boldsymbol{f}_{\text{மீநி}}$ என்று குறிப்போம். நிலைமவுராய்வின் இந்த எல்லை தொடுகைப் பரப்பின் பரப்பளவை சாராமல் செங்குத்து எதிர்வினையை மட்டுமே சார்ந்திருப்பதாக பரிசோதனைகள் காட்டுகின்றன. இந்த சார்புமையை

$$\boldsymbol{f}_{\text{மீநி}} = \mu_{\text{நி}}\boldsymbol{N} \qquad (5.13)$$

என்ற நேரியச்சார்பனால் தோராயமாக்கலாம்; இங்கு $\mu_{\text{நி}}$ என்ற விழுக்காட்டு மாறிலி தொடுகைமேற் பரப்பின் இயல்பை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. இந்த மாறிலியை நிலைமவுராய்வுக்கெழு என்கிறோம். இதை பயன்படுத்தி நிலைமவுராய்வுவிதியை

$$f_{\text{நி}} \le \mu_{\text{நி}}N \qquad (5.14)$$

என்று எழுதலாம். செலுத்திய விசை $f_{\text{மீநி}}$யை மீறும்போது பொருள் பரப்பில் சறுக்கத் தொடங்குகிறது.



படம் 5.10 நிலைமவுராய்வும் சறுக்குராய்வும் (அ) பொருளின் நிகழப்போகும் அசைவை நிலைமவுராய்வு எதிர்க்கிறது. புறவிசை நிலைமவுராய்வின் மீப்பெரும எல்லையை மீறும்போது பொருள் அசையத்தொடங்குகிறது. (ஆ) பொருள் அசையத்தொடங்கியபின், அது சறுக்குராய்வுக்கு (இயக்கவுராய்வுக்கு) உள்ளாகிறது. இது தொடும் இரண்டு பரப்புகளிடையான ஒப்பளவ அசைவை எதிர்க்கிறது. இயக்கவுராய்வு நிலைமவுராய்வின் மீப்பெரும மதிப்பைவிட சிறிதாயிருப்பது வழக்கம்.

ஒப்பளவ அசைவு தொடங்கியபின் உராய்வு விசை நிலைம மீப்பெரும மதிப்பான $f_{\text{மீநி}}$ யிலிருந்து குறைவதை பரிசோதனைகள் காட்டுகின்றன. தொடுகையிலுள்ள பரப்புகளிடை யில் ஒப்பளவ அசைவை எதிர்க்கும் உராய்வு விசையை சறுக்குராய்வு என்றும் இயக்கவுராய்வு என்றும் அழைத்து $\boldsymbol{f}_{\text{இ}}$ என்று குறிக்கிறோம். நிலைமவுராய்வைப்போலவே இயக்கவுராய்வும் தொடுகைப்பரப்பளவை சாராததை காண்கிறோம். மேலும் அது கிட்டத்தட்ட திசைவேகத்தையும் சாரவில்லை. இதுவும் நிலைமவுராய்வைப் போன்ற ஒரு உறவை நிறைவுசெய்கிறது.

$$\boldsymbol{f}_{\text{இ}} = \mu_{\text{இ}}\boldsymbol{N} \qquad (5.15)$$

இங்கு $\mu_{\text{இ}}$ என்று குறித்த இயக்கவுராய்வின் கெழு தொடுகைப்பரப்பின் இயல்பை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. மேற்சொன்னபடி, $\mu_{\text{நி}}$ யைவிட $\mu_{\text{இ}}$ சிறிதாயிருப்பதை பரிசோதனைகள் காட்டுகின்றன. ஒப்பளவசைவு தொடங்கியபின் இரண்டாம் விதியின்படி பொருளின் முடுக்கம் $(F - f_{\text{இ}})/m$. மாறாத்திசைவேகத்தில் அசையும் பொருளுக்கு $F = f_{\text{இ}}$. செலுத்திய விசை நீங்கினால் பொருளின் முடுக்கம் $-f_{\text{இ}}/m$; இறுதியில் அது நின்றுவிடுகிறது.

மேலே விவரித்த உராய்வின் விதிகள் நிறையீர்ப்புவிசைகளையும் மின்காந்தவிசைகளையும் போன்று அடிப்படையானவை அல்ல. இவை பரிசோதனையுறவுகள். இவை தோராயமாகவே உண்மையாகின்றன. எனினும், எந்திரவியலில் நடை முறைக்கணக்கீடுகளுக்கு மிகவும் பயனுள்ளவை.

இரண்டு பொருள்கள் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்போது, ஒவ்வொன்றும் மற்றதிலிருந்து ஒரு தொடுகைவிசையை உணர்கிறது. உராய்வு என்பது, வரையறையின்படி, தொடுகைப்பரப்புக்கு இணையான அகை. இது இரண்டு பரப்புகளிடையான ஒப்பளவ அசைவை எதிர்க்கிறது. உராய்வு அசைவை எதிர்க்கவில்லை; **ஒப்பளவ அசைவை**யே எதிர்க்கிறது என்பதை நோக்குக. அதாவது ஒன்றின் ஒப்பீட்டில் மற்றது அசைவதை எதிர்க்கிறது. முடுக்கமடையும் ஒரு தொடர்வண்டியில் கிடக்கும் பெட்டியை கருதுக. வண்டியின் ஒப்பீட்டில் பெட்டி நிலையாயிருந்தால், உண்மையில் அது வண்டியுடன் முடுக்கமடைகிறது. பெட்டியின் முடுக்கத்துக்கு காரணமாகும் விசைகள் யாவை? கிடைமட்டத் திசையில் நாம் எண்ணக்கூடிய ஒரே விசை உராய்வின் விசை. உராய்வு இல்லாவிட்டால், வண்டியின் தரை நகர்ந்துசெல்ல, பெட்டி மாறாமையால் இருந்தவிடத்திலே இருக்கும் (இறுதியில் வண்டியின் பின்சுவரில் மோதும்). இந்த வரப்போகும் ஒப்பளவ அசைவை நிலைமவுராய் வான $f_{நி}$ எதிர்க்கிறது. நிலைமவுராய்வு வண்டி பெட்டிக்கு தரும் அதே முடுக்கத்தை எதிர்த்திசையில் தந்து பெட்டியை வண்டியின் ஒப்பளவில் நிலையாக வைத்திருக்கிறது.

சிக்கல் 5.7

ஒரு தொடர்வண்டியின் தரைக்கும் அதில் கிடக்கும் ஒரு பெட்டிக்குமிடையான நிலைமவுராய்வின் கெழு 0.15 எனில், பெட்டி நிலையாயிருப்பதற்கான மீப்பெரும வண்டி முடுக்கத்தை தீர்மானிக்க.

தீர்வு

பெட்டியின் முடுக்கம் நிலைமவுராய்வினால் ஏற்படுவதால்,

$$m\,a = f_{நி} \le \mu_{நி}\,N = \mu_{நி}\,m\,g$$

அதாவது $a \le \mu_{நி}\,g$. எனவே, மீப்பெரும முடுக்கம்

$$a_{மீ} = \mu_{நி}\,g = 0.15 \times 10\,m\,s^{-2} = 1.5\,m\,s^{-2}$$

சிக்கல் 5.8

படம் 5.11ஐ காண்க. ஒரு $4\,kg$ நிறை கிடைமட்டத்தளத்தில் இருக்கிறது. தளத்தை படிப்படியாக சாய்த்து கிடைமட்டத்திலிருந்து $15°$க்கு கொண்டுவரும்போது நிறை சறுக்கத் தொடங்குகிறது. நிறைக்கட்டிக்கும் சாய்தளத்துக்குமிடையான நிலைமவுராய்வின் கெழு என்ன?

தீர்வு

சாய்தளத்தில் நிலையாயிருக்கும் m என்ற நிறைக்கட்டியின்மீது செயலாற்றும் விசைகள் (1) நெடுநிற்பமாக கீழ்நோக்கி செயலாற்றும் எடையான $m\,g$, (2) தளத்தின் செங்குத்துவிசையான N , (3) வரப்போகும் அசைவை எதிர்க்கும் நிலைமவுராய்வின் விசை ஆகியவை. சமநிலையில் இந்த விசைகளின் விளைவுமம் சுழியமாகவேண்டும். எடையான mg யை படத்தில் காட்டிய இரண்டு திசைகளில் அகைபிரித்து

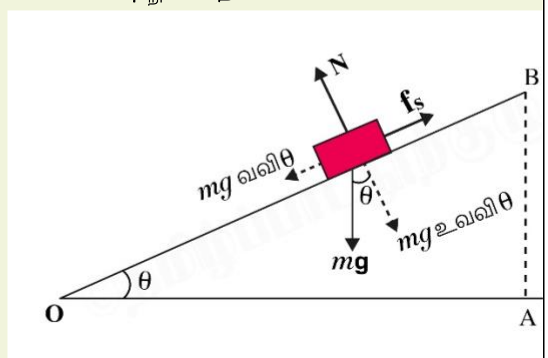
$$m\,g\,வவி\,\theta = f_{நி}, \qquad m\,g\,உவவி\,\theta = N$$

என்று காண்கிறோம். θ அதிகரிக்க, தானே சரிக்கட்டும் உராய்வுவிசையான $f_{நி}$ அதிகரிக்கிறது. இது $\theta = \theta_{மீ}$ வரும்வரை தொடர்கிறது. அப்போது $f_{நி}$ மீப்பெரும மதிப்பான $f_{மீநி} = \mu_{நி}\,N$ என்ற மதிப்பை அடைகிறது. எனவே,

$$தொவி\,\theta_{மீ} = \mu_{நி}, \qquad \theta_{மீ} = தொவி^{-1}\,\mu_{நீ}$$

θ $\theta_{மீ}$ யைவிட சற்றே அதிகமாகும்போது கட்டியில் ஒரு சிறு நிகரவிசை தோன்றுகிறது; கட்டி சறுக்கத்தொடங்குகிறது. $\theta_{மீ}$ $\mu_{நி}$ யை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது என்பதையும் கட்டியின் நிறையை சார்ந்திருக்கவில்லை என்பதையும் நோக்குக. $\theta_{மீ} = 15°$ என்பதால்,

$$\mu_{நி} = தொவி\,15° = 0.27$$



படம் 5.11

சிக்கல் 5.9

படம் 5.12(அ)வில் காட்டிய தள்ளுவண்டிக்கும் அது உருளும் பரப்புக்குமிடையான இயக்கவுராய்வின் கெழு 0.04 எனில், தள்ளுவண்டியும் கட்டையுமான அமைப்பின் முடுக்கம் என்ன? சரத்தின் விறைப்பு என்ன? ($g = 10\,m\,s^{-2}$ எனக்கொள்க.) சரத்தின் நிறையை புறக்கணிக்க.

தீர்வு

சரம் நீட்டத்தகாதது, கப்பி வழவழப்பானது என்பதால், $3\,kg$ கட்டிக்கும் $20\,kg$ தள்ளு வண்டிக்கும் ஒரே அளவான முடுக்கம் இருக்கிறது. இரண்டாம் விதியை பயனாக்கி கட்டிக்கு (படம் 5.12(ஆ)) $30 - T = 3a$ என்றும் தள்ளுவண்டிக்கு (படம் 5.12(இ)) $T - f_{இ} = 20\,a$ என்றும் பெறுகிறோம். $f_{இ} = \mu_{இ}\,N$ என்பதில், $\mu_{இ} = 0.04$, $N = 20 \times 10 = 200\,N$. இதை பயன்படுத்தி

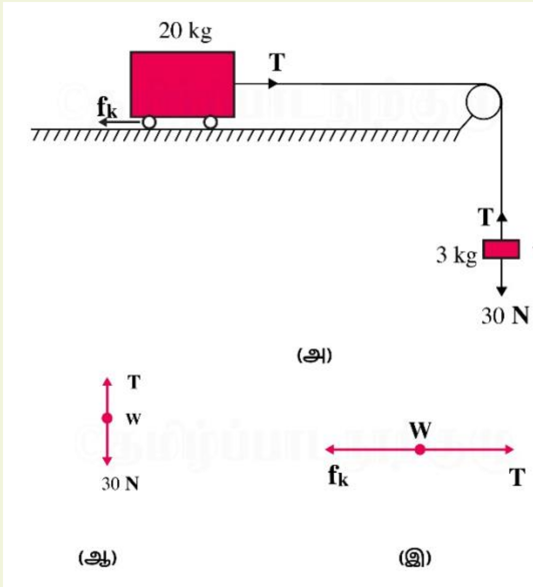
$$T - 0.04 \times 200 = 20\,a$$

என்பதை பெறுகிறோம். இரண்டு சமன்பாடுகளையும் T, a ஆகியவற்றுக்காக தீர்த்து

$$a = \frac{22}{23}, \qquad T = 27.1\,N$$

தமிழ்வழியறிவுக்குழு

என்று பெறுகிறோம்.

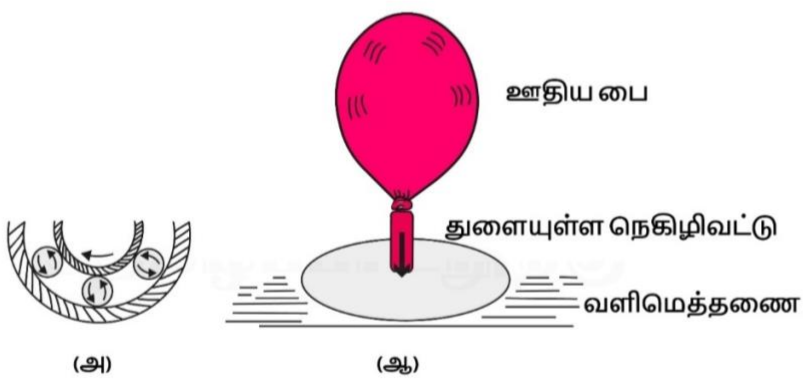


படம் 5.12

5.9.2 உருளலுராய்வு

ஒரு வளையமோ கோளமோ ஒரு கிடைமட்டத்தளத்தில் சறுக்கலின்றி உருளும் போது கொள்கையளவில் உராய்வை உணர்வதில்லை. ஒவ்வொரு நேரத்திலும் பொருளுக்கும் பரப்புக்குமிடையில் ஒரு புள்ளியில் மட்டும் தொடுகை இருக்கிறது. இந்தப்புள்ளிக்கு பரப்புடன் ஒப்பளவ அசைவு இல்லை. இந்த நல்லியல்பான நிலைமையில் நிலைமவுராய்வும் இயக்கவுராய்வும் சுழியமாகின்றன. ஆனால், நடைமுறையில் இந்த அசைவுக்கு ஒரு சிறு தடையம் (உருளலுராய்வு) இருப்பதை நாம் அறிகிறோம். அதாவது பொருளை உருட்டிக் கொண்டேயிருக்க ஒரு விசையை செலுத்த வேண்டியதிருக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட எடைக்கு நிலைமவுராய்வையும் சறுக்குராய்வையும்விட உருளலுராய்வு மிகவும் சிறியது. சிலநேரங்களில் இரண்டோ மூன்றோ பருமனளவமுறைமையில் சிறியது. இதனாலே சக்கரத்தின் கண்டுபிடிப்பு மனிதவரலாற்றில் ஒரு முதன்மையான படிக்கல்லாக அமைகிறது.

உருளலுராய்வுக்கும் உட்சிக்கலான மூலம் இருக்கிறது. எனினும், இது நிலைமவுராய்வின் மூலத்திலிருந்தும் இயக்கவுராய்வின் மூலத்திலிருந்தும் சற்றே வேறுபட்டது. உருளலின்போது தொடும் பரப்புகள் சற்றே உருத்திரிபடைகின்றன. இதனால் புள்ளிக்குப்பதிலாக ஒரு முடிவுறு பரப்பில் பொருள் பரப்பை தொடுகிறது. நிகர விளைவு என்னவென்றால், தொடுகைவிசையின் பரப்புக்கு இணையான அகை அசைவை எதிர்க்கிறது.



படம் 5.13 உராய்வை குறைக்கும் சில வழிகள். (அ) ஒரு எந்திரத்தின் அசையும் பகுதிகளிடையில் வைத்த மணித்தாங்கிகள். (ஆ) ஒப்பளவ அசைவிலுள்ள பரப்புகளிடையில் அமுக்கிய வளியின் மெத்தணை

உராய்வை நாம் பெரும்பாலும் விரும்பத் தகாததாகவே கருதுகிறோம். பல நிலைமைகளில், சான்றாக பல அசையும் பகுதிகளுள்ள எந்திரத்தில் உராய்வு எதிர்மப்பங்கை வகிக்கிறது. ஒப்பளவ அசைவை எதிர்த்து அதனால் திறனை வெப்பம் போன்றவையாக வெளிப்போக்குகிறது. உயவிகள் எந்திரத்தில் இயக்கவுராய்வை குறைக்கும் ஒரு வழி. மற்றொரு வழி மணித்தாங்கிகளை பயன்படுத்தல் (படம் 5.13(அ)). மணித்தாங்கிகளுக்கும் பரப்புகளுக்குமிடையில் உருளலுராய்வு மிகக்குறைவு என்பதால் திறன்வெளிப்போக்கு குறைகிறது. ஒப்பும அசைவிலுள்ள திண்ம வெளிப்பரப்புகளிடையில் ஒரு மெல்லிய வளிமெத்தணையை நிலைக்கச்செய்வது உராய்வை குறைக்கும் மற்றொரு பயனுறு வழி (படம் 5.13(ஆ)).

ஆனால், பல நடைமுறைநிலைமைகளில் உராய்வு உய்யத்தேவையாகிறது. திறனை வெளிப்போக்கும் இயக்கவுராய்வு ஒப்பளவ அசைவை நிறுத்துவதில் முக்கியமானது. எந்திரங்களிலும் தானுந்துகளிலும் தடுப்பியிட இது பயன்படுகிறது. நிலைமவுராய்வும் அன்றாட வாழ்வில் முக்கியமானது. உராய்வாலே நம்மால் நடக்க இயல்கிறது. ஒரு வழுக்கும் சாலையில் உந்துவண்டி ஓடுவது மிகக்கடினம். இயல்பான சாலையில் சாலைக்கும் வண்டியின்

வட்டுறைக்குமிடையான உராய்வு தானுந்தை முடுக்க தேவையான புறவிசையை தருகிறது.

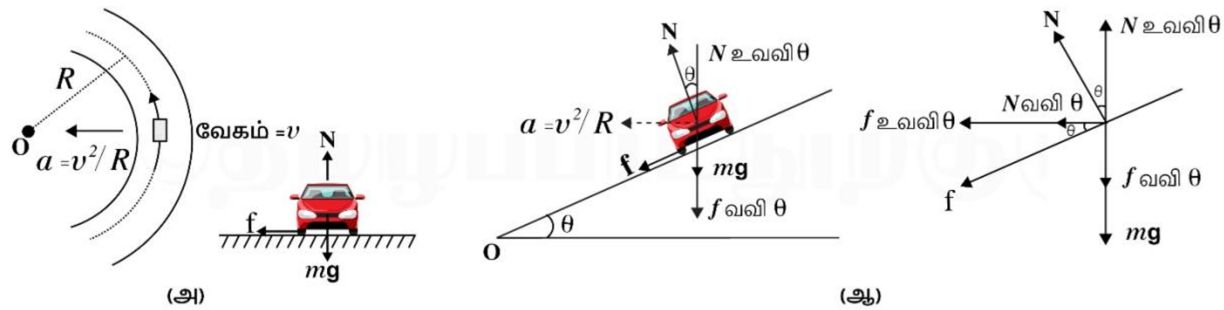
5.10 வட்டமான அசைவு

4ஆம் படலத்தில் R ஆரமுள்ள வட்டத்தில் v என்ற சீரான வேகத்துடன் அசையும் பொருளின் முடுக்கம் மையத்தை நோக்கிய v^2/R என்று கண்டோம். இரண்டாம் விதியின்படி, இந்த முடுக்கத்தை தரும் விசை

$$f_{\text{வ}} = \frac{m\,v^2}{R} \qquad (5.16)$$

இங்கு, m பொருளின் நிறை. ஒரு சரத்தால் வட்டமாக சுற்றும் ஒரு கல்லுக்கு இந்த மையநோக்குவிசையை சரம் வழங்குகிறது. கதிரவனை ஒரு கோள் சுற்றுவதில் மையநோக்கு விசை கோளின்மீதான கதிரவனின் நிறையீர்ப்பு விசை. ஒரு கிடைமட்டச்சாலையில் வட்டமாக திரும்பும் தானுந்துக்கு மையநோக்குவிசை உராய்வின் விசை.

சாய்வரப்பிட்ட ஒரு தட்டையான சாலையில் வட்டப்பாதையில் ஓடும் ஒரு தானுந்து அசைவுவிதிகளின் ஆர்வமான பயன்பாடுகளை காட்டுகிறது.



படம் 5.14 (அ) தட்டையான சாலையிலும் (ஆ) சாய்வரப்பிட்ட சாலையிலும் ஒரு சிற்றுந்தின் வட்டமான அசைவு

தட்டையான சாலையில் சிற்றுந்தின் அசைவு

சிற்றுந்தில் மூன்று விசைகள் செயலாற்றுகின்றன (படம் 5.14(அ)). அவை (1) சிற்றுந்தின் எடையான mg, (2) செங்குத்தெதிர்வினையான N, (3) உராய்வுவிசையான f ஆகியவை. நெடுநிற்பத்திசையில் உராய்வின் முடுக்கம் இல்லாததால்

$$N - mg = 0, \qquad N = mg \qquad (5.17)$$

என்றாகிறது. வட்டமான அசைவுக்கு தேவையான மையநோக்குவிசை சாலையின் பரப்புக்கு நேரானது. அதை சாலைக்கும் சிற்றுந்தின் வட்டுறைக்குமிடையான தொடுகைவிசையின் பரப்பகை தருகிறது. நிலைமவுராய்வே மையநோக்கு விசையை தருகிறது என்பதை நோக்குக. நிலைமவுராய்வு சிற்றுந்தை வட்டத்திலிருந்து விலக்க வரப்போகும் அசைவை எதிர்க்கிறது. (5.14) , (5.16)ஆகிய சமன்பாடுகளை பயன்படுத்தி

$$f = \frac{mv^2}{R} \le \mu_{\text{நி}} N, \qquad v^2 \le \frac{\mu_{\text{நி}} RN}{m} = \mu_{\text{நி}} Rg,$$

ஏனெனில் $N = mg$

என்ற விளைவுகளை பெறுகிறோம். இது சிற்றுந்தின் நிறையை சார்ந்திருக்கவில்லை. இது காட்டுவது என்னவென்றால், குறிப்பிட்ட $\mu_{\text{நி}}$, R ஆகியவற்றின் மதிப்புகளுக்கு சிற்றுந்தின் சாத்தியமான மீப்பெரும வட்ட அசைவுவேகம் உள்ளது; அந்த வேகம்

$$v_{\text{மீ}} = \sqrt{\mu_{\text{நி}} Rg} \qquad (5.18)$$

சாய்வரப்பிட்ட சாலையின் சிற்றுந்தின் அசைவு

சிற்றுந்தின் வட்டமான அசைவுக்கு உராய்வின் பங்களிப்பை குறைக்க சாலையை படம் 5.14(ஆ)வில் காட்டியபடி சாய்வரப்பிடுகிறார்கள். நெடுநிற்பத்திசையில் உராய்வின் முடுக்கம் இல்லாததால் இந்தத்திசையில் நிகர விசை சுழியாகவேண்டும். எனவே,

$$N\,\text{உவவி}\,\theta = mg + f\,\text{வவி}\,\theta \qquad (5.19)$$

மையநோக்குவிசையை N இன் கிடைமட்ட அகையும் f உம் தருகின்றன.

$$N\,\text{வவி}\,\theta + f\,\text{உவவி}\,\theta = \frac{mv^2}{R}$$

ஆனால், $f \le \mu_{\text{நி}} N$. இவ்வாறு, $v_{\text{மீ}}$ யை பெற $f = \mu_{\text{நி}} N$ என்று வைக்கிறோம். அப்படியெனில், (5.19)ஆம் சமன்பாடும் அதற்கடுத்ததும்

$$N\,\text{உவவி}\,\theta = m\,g + \mu_{\text{நி}} N\,\text{வவி}\,\theta \qquad (5.20)$$

$$N\,\text{வவி}\,\theta + \mu_{\text{நி}} N\,\text{உவவி}\,\theta = mv^2/R$$

என்றாகின்றன. (5.20)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$N = \frac{mg}{\text{உவவி}\,\theta - \mu_{\text{நி}}\,\text{வவி}\,\theta}$$

என்றும், அதற்கடுத்த சமன்பாட்டில் N ஐ மாற்றிட்டு

$$\frac{mg\left(\text{வவி}\,\theta + \mu_{\text{நி}}\,\text{உவவி}\,\theta\right)}{\text{உவவி}\,\theta - \mu_{\text{நி}}\,\text{வவி}\,\theta} = \frac{mv_{\text{மீ}}^2}{R}$$

அதாவது,

$$v_{\text{மீ}} = \left(Rg\,\frac{\mu_{\text{நி}} + \text{தொவி}\,\theta}{1 - \mu_{\text{நி}}\,\text{தொவி}\,\theta}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (5.21)$$

என்றும் பெறுகிறோம். இதை (5.18) ஆம் சமன்பாட் டுடன் ஒப்பிட்டு, சிற்றுந்தின் சாத்தியமான மீப்பெரும வேகம் தட்டைமான சாலையைவிட சாய்வரப்பிட்ட சாலையில் அதிகமாயிருப்பதை காண்கிறோம்.

$\mu_{நி} = 0$ என்றபோது (5.21)ஆம் சமன்பாடு

$$v_0 = (Rg\,\text{தொவி}\,\theta)^{\frac{1}{2}} \qquad (5.22)$$

என்றாகிறது. இந்த வேகத்தில், தேவையான மையநோக்குவிசையை வழங்க உராய்வுவிசை தேவையில்லை. சாய்வரப்பிட்ட சாலையின் இந்த வேகத்தில் ஓட்டுவதால் வட்டுறைகளில் மிகக்குறைந்த தேய்மானமே உண்டாகிறது. $v < v_0$ என்றபோது உராய்வுவிசை சரிவில் மேனோக்கியது; மேலும் தொவி $\theta \leq \mu_{நி}$ என்றிருந்தாலே சிற்றுந்தை சரிவில் நிறுத்தவியலும்.

சிக்கல் 5.10

ஒரு தட்டைச்சாலையில் $18\,km/h$ வேகத்தில் பயணிக்கும் ஒரு மிதிவண்டியர் வேகத்தை குறைக்காமல் $3\,m$ ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்திருப் பத்தை மேற்கொள்கிறார். சாலைக்கும் வட்டுறைக்குமிடையான நிலைமவுராய்வுக்கெழு 0.1. மிதி வண்டியர் திருப்பத்தின்போது சறுக்கிவிடுவாரா?

தீர்வு

சாய்வரப்பிடாத சாலையில் மிதிவண்டியர் சறுக்காமல் வட்டப்பாதையில் திரும்ப தேவையான மையநோக்குவிசையை உராய்வுவிசை மட்டுமே தருகிறது. வேகம் மிகையதிகமாயிருந்தாலோ திருப்பம் மீகைக் கூர்மையாயிருந்தாலோ (மிகைக்குறைவான ஆரம்) உராய்வுவிசை தேவையான மையநோக்குவிசையை வழங்காததால் மிதிவண்டியர் சறுக்குகிறார். மிதிவண்டியர் சறுக்காததன் நிபந்தனையை (5.18)ஆம் சமன்பாடு தருகிறது.

$$v^2 \leq \mu_{நி} Rg$$

இப்போது, $R = 3m$, $g = 9.8\,m\,s^{-2}$, $\mu_{நி} = 0.1$. அதாவது $\mu_{நி} Rg = 2.94\,m^2 s^{-2}$. எனவே, நிபந்தனை நிறைவேறவில்லை. மிதிவண்டியர் திரும்பும்போது சறுக்குவார்.

சிக்கல் 5.11

$300\,m$ ஆரமுள்ள ஒரு வட்டமான ஓட்டச்சுவடு $15°$யில் சாய்வரப்பிடப்பட்டுள்ளது. ஒரு ஓட்டவுந்தின் சக்கரங்களுக்கும் சாலைக்குமிடையான உராய்வுக்கெழு 0.2 எனில், (அ) ஓட்டவுந்தின் வட்டுறைகளில் தேய்மானத்தை தவிர்க்க அதன் உகம வேகம் என்ன? (ஆ) சறுக்கலை தவிர்க்க சாத்தியமான மீப்பெரும வேகம் என்ன?

தீர்வு

சாய்வரப்பிட்ட சாலையில் வண்டி வட்டத்தில் சறுக்காமல் திரும்பத்தேவையான மையநோக்கிய விசையை செங்குத்துவிசையின் கிடைமட்ட அகையும் உராய்வுவிசையும் தருகின்றன. உகம வேகத்தில் செங்குத்தெதிர்வினையின் அகை தேவையான மையநோக்கு விசையை வழங்க போதுமானது; உராய்வு விசை தேவையில்லை. உகம விசையை (5.22)ஆம் சமன்பாடு

$$v_0 = (R\,g\,\text{தொவி}\,\theta)^{\frac{1}{2}}$$

என்று தருகிறது. இங்கு, $R = 300\,m, \theta = 15°, g = 9.8\,m\,s^{-2}$. எனவே,$v_0 = 28.1\,m\,s^{-1}$.

சாத்தியமான மீப்பெரும வேகத்தை (5.21)ஆம் சமன்பாடு தருகிறது.

$$v_{மீ} = \left(R\,g\,\frac{\mu_{நி} + \text{தொவி}\,\theta}{1 - \mu_{நி}\,\text{தொவி}\,\theta}\right)^{\frac{1}{2}} = 38.1\,m\,s^{-1}$$

5.11 எந்திரவியலில் சிக்கல்களை தீர்த்தல்

இந்த படலத்தின் நீங்கள் கற்றிருக்கும் அசைவின் மூன்று விதிகளும் எந்திரவியலின் அடிப்படை. இப்போது நீங்கள் எந்திரவியலில் மிகப்பரந்த வகையான சிக்கல்களை தீர்க்கலாம். எந்திரவியலில் எழும் ஒரு சிக்கலில் ஒற்றைப் பொருள் மட்டும் இருப்பது வழக்கமன்று. ஒன்றின்மீதொன்று விசையை செலுத்தும் பல வெவ்வேறு பொருள்களின் தொகுவிணைப்பை நாம் கருதவேண்டும். மேலும், தொகுவிணைப்பிலுள்ள ஒவ்வொரு பொருளும் புவியீர்ப்புவிசையையும் உணர்கிறது. இவ்வகையான சிக்கல்களை தீர்க்க முயலும்போது, தொகுவிணைப்பின் எந்தப்பகுதியையும் தேர்ந்து, அதன்மீது மற்றப் பாகங்கள் செலுத்தும் எல்லா விசைகளையும் கணக்கிலெடுத்து அந்தப்பகுதிக்கு அசைவின் விதிகளை பயனாக்கலாம் என்ற உண்மையை நினைவுகொள்க. இவ்வாறு தேர்ந்த பகுதியை நாம் அமைப்பு என்றழைக்கிறோம். மற்ற பகுதிகளையும் புறவிசைகள் ஏதுமிருந்தால் அவற்றையும் சேர்த்து சூழமைவு என்கிறோம். தீர்த்துக்காட்டிய சிக்கல்களில் நாம் இந்த முறையையே பின்பற்றியிருக்கிறோம். எந்திரவியலில் ஒரு சிக்கலை அமைமுறையாக அணுக, கீழ்க்காணும் படிகளை பின்பற்றலாம்.

- பொருள்களின் தொகுவிணைப்பின் பல்வேறு பகுதிகளையும் இணைப்புகள், ஆதாரங்கள், இன்ன பிறவற்றையும் காட்டும் ஒரு படவரைவை வரைக.
- தொகுவிணைப்பின் ஒரு வசதியான பகுதியை அமைப்பாக தேர்க.
- இந்த அமைப்பையும் அதன்மீது தொகுவிணைப்பின் மற்றப்பகுதிகள் செலுத்தும் எல்லா விசைகளையும் காட்டும் படவரைவை தனியாக வரைக. இந்த படவரைவில் மற்ற முகவங்கள் அமைப்பின்மீது செலுத்தும் விசைகளையும் சேர்க்க. **அமைப்பு சூழலின்மீது செலுத்தும் விசைகளை சேர்க்கவேண்டாம்.** இவ்விதமான படவரைவை தனிப்பொருட்படவரைவு என்கிறோம். (இது கருத்திலுள்ள அமைப்பு

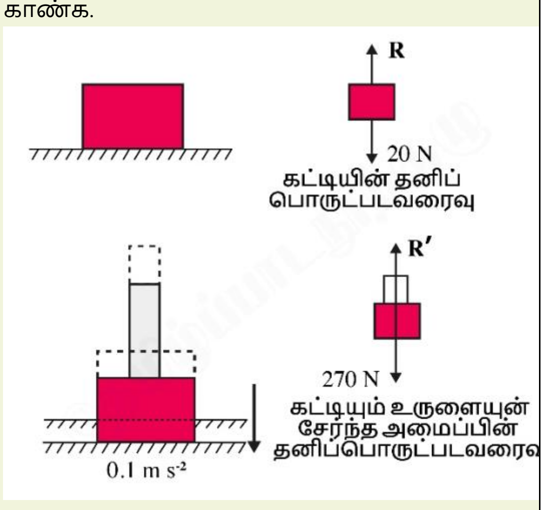
நிகரவிசையற்றது என்ற பொருளை தரவில்லை என்பதை நோக்குக.)

- தனிப்பொருட்படவரைவில் விசைகளைப் பற்றிய தகவல்களுள் (பருமனளவுகளும் திசைகளும்) கொடுக்கப்பட்டுள்ளவற்றையும் தெரிந்தவற்றையும் குறிக்க. சான்றாக, ஒரு சரத்தின் விறைப்பு எப்போதும் அதன் நீளத்துக்கு நேராக இருப்பது நமக்கு தெரியும். எஞ்சியவற்றை இயக்கவிதிகளை பயன் படுத்தி தீர்மானிக்கவேண்டிய அறியாமாறிகளாக கருதுக.
- தேவையெனில் மற்றொரு பகுதியை அமைப்பாக தேர்ந்து இதே செய்முறையை பின்பற்றலாம். இவ்வாறு செய்யும்போது நியூட்டனின் மூன்றாம் விதியை பயன் படுத்துக. அதாவது Aக்கான தனிப்பொருட் படவரைவில் Aயின்மீது Bயாலான விசை $\boldsymbol{F}$ எனில், B யின் தனிப்பொருட்படவரைவில் Bயின்மீது Aயாலான விசை $-\boldsymbol{F}$.

கீழ்க்காணும் சான்று மேற்கண்ட செய்முறையை எடுத்துக்காட்டுகின்றது.

சிக்கல் 5.12

படம் 5.15ஐ காண்க. $2\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு மரக்கட்டை ஒரு மென்மையான கிடைமட்டத் தரையில் கிடக்கிறது. $25\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு இரும்புருளையை கட்டையின்மீது வைக்கும் போது தரை படிப்படியாக விட்டுக்கொடுத்து கட்டையும் உருளையும் சேர்ந்து $0.1\ m\ s^{-2}$ வேகத்தில் கீழிறங்குகின்றன. தரை விட்டுக் கொடுக்கும் (அ) முன்பும் (ஆ) பின்பும் தரையின்மீது கட்டையின் வினை என்ன? $g = 10\ m\ s^{-2}$ எனக்கொள்க. இந்த சிக்கலில் வரும் வினையெதிர்வினைச்சோடிகளை இனங் காண்க.



படம் 5.15

தீர்வு

(அ) கட்டை தரையில் ஓய்விலிருக்கிறது. அதன் தனிப்பொருட்படவரைவு கட்டையில் இரண்டு விசைகளை காட்டுகிறது. அவை புவியின் ஈர்ப்புவிசையான $2 \times 10\ N = 20\ N$, தரையின் செங்குத்துவிசையான R ஆகியவை. முதல் விதியின்படி, கட்டையின்மீதான நிகர விசை சுழியமாகவேண்டும். அதாவது $R = 20\ N$. மூன்றாம் விதியால், கட்டையின் வினை (அதாவது கட்டை தரையின்மீது செலுத்தும் விசை) $20\ N$; இது நெடுநிற்பமாக கீழ்நோக்கியது.

(ஆ) கட்டையும் உருளையுமான அமைப்பு கீழ்நோக்கி $0.1\ m\ s^{-2}$ முடுக்கமடைகிறது. அமைப்பின் தனிப்பொருட்படவரைவு அமைப்பில் புவியீர்ப்பின் விசையான $270\ N$, தரையால் ஏற்படும் செங்குத்துவிசையான R' .ஆகிய இரண்டு விசைகள் செயலாற்றுவதாக காட்டுகிறது. அமைப்பின் தனிப் பொருட்படவரைவு கட்டைக்கும் உருளைக்குமிடையான அகவிசையை காட்டவில்லை. அமைப்புக்கு இரண்டாம் விதியை பயனாக்கி

$$270\ N - R' = 27 \times 0.1\ N,$$

அதாவது $R' = 267.3\ N$

என்பதை பெறுகிறோம். மூன்றாம் விதிப்படி தரையில் அமைப்பின் வினை நெடுநிற்பக் கீழ்நோக்கிய $267.3\ N$

வினையெதிர்வினைச்சோடிகள்

(அ)வில்: 1. கட்டையின்மீது புவியீர்ப்பின் விசையை $(20\ N)$ வினை என்க. கட்டை புவியின்மீது செலுத்தும் நிறையீர்ப்பான எதிர்வினை $20\ N$ மேனோக்கியது (படத்தில் காட்டவில்லை). 2. தரைமீது கட்டையின் விசை (வினை); கட்டையின்மீது தரையின் விசை (எதிர்வினை).

(ஆ)வில்: 1. அமைப்பின்மீது புவியீர்ப்பின் விசை $(270\ N)$ வினை எனில், புவியின்மீது அமைப்பின் நிறையீர்ப்பான மேனோக்கிய $270\ N$ எதிர்வினை (படத்தில் காட்டவில்லை). 2. தரைமீது அமைப்பின் விசை (வினை); அமைப்பின்மீது தரையின் விசை (எதிர்வினை). 3. கட்டையின்மீது உருளையின் விசையும் உருளையின்மீது கட்டையின் விசையும் ஒரு வினையெதிர்வினைச் சோடி.

இங்கு முக்கியமாக நினைவில் கொள்ள வேண்டியது என்னவென்றால், வினையெதிர் வினைச்சோடிகளில் எப்போதும் இரண்டு பொருள்களிடையில் ஒன்றுக்கொன்றான சமமாகவும் எதிரெதிர்த்திசையிலுமுள்ள விசைகள் உள்ளன. ஒரே பொருளில் சமமாகவும் எதிரெதிர்த்திசையிலும் இருக்க நேரும் இரண்டு விசைகள் ஒருபோதும் வினையெதிர்வினைச்சோடியாக இயலாது. (அ)விலோ (ஆ)விலோவுள்ள நிறையின்மீதான புவியீர்ப்புவிசையும் நிறையின்மீது தரையின் செங்குத்துவிசையும் வினையெதிர்வினைச் சோடிகள் அல்ல. (அ)வில் இந்த விசைகள் சமமாகவும் எதிரெதிர்த்திசைகளிலும் உள்ளன நிறை ஓய்விலிருப்பதால். (ஆ)வில் இவ்வாறு இல்லை என்பதை முன்பே கண்டோம். அமைப்பின் எடை $270\ N$; ஆனால் செங்குத்து விசை $R' = 267.3\ N$.

தனிப்பொருட்படவரைவை வரையும் வழக்கம் எந்திரவியலில் சிக்கல்களை தீர்ப்பதில் மிகவும் உதவுகிறது. அமைப்பை தெளிவாக வரையறுத்து அமைப்பின்மீது அமைப்பில் இல்லாத பகுதிகள் செலுத்தும் எல்லா விசைகளையும் கருத உதவுகிறது. இந்த படலத்திலும் வரும் படலங்களிலும் பல பயிற்சிகள் உங்களை இந்த வழக்கத்தில் பழக்குவன.

சுருக்கவுரை

1. ஒரு பொருளை சீரான அசைவில் வைத்திருக்க ஒரு விசை தேவை என்ற அரிசுட்டாட்டிலின் கருத்து தவறானது. நடைமுறையில் உராய்வின் விசையை எதிர்க்க ஒரு விசை தேவையாகிறது.
2. கலிலியோ சாய்தளங்களில் பொருள்கள் அசைவதைப்பற்றிய எளிய கண்டறிதல்களை புறநீட்டி மாறாமைவிதியை வந்தடைந்தார். அதே விதியை வேறுவிதமாக அசைவைப்பற்றிய நியூட்டனின் முதல் விதி இவ்வாறு சொல்கிறது:

   "*ஒரு பொருளின் அசைவை மாற்ற ஏதேனும் புறவிசை இல்லாதவரை பொருள் ஓய்வுநிலையிலோ நேர்க்கோட்டில் சீரான அசைவிலோ இருப்பது தொடர்கிறது.*" எளிய சொற்களில் முதல் விதி "**ஒரு பொருளின்மீதான புறவிசை சுழியமெனில், அதன் முடுக்கம் சுழியம்**."
3. ஒரு பொருளின் உந்தம் $(\boldsymbol{p})$ என்பது அதன் நிறைக்கும் (m) திசைவேகத்துக்குமான $(\boldsymbol{v})$ பெருக்கல்.

   $$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$$
4. நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி: ஒரு பொருளின் உந்தமாற்றத்தின் வீதம் செலுத்திய விசைக்கு நேர்விழுக்காடானது; விசை செயலாற்றும் திசையில் செயலாற்றுகிறது. இவ்வாறு

   $$\boldsymbol{F} = k\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = k\ m\ \boldsymbol{a}$$

   இங்கு $\boldsymbol{F}$ பொருளின்மீதான நிகர புறவிசை; $\boldsymbol{a}$ அதன் முடுக்கம். விழுகாட்டுமாறிலியை நாம் $k = 1$ என்று வைப்பதால்,

   $$\boldsymbol{F} = \frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = \ m\ \boldsymbol{a}$$

   விசையின் அவ அலகு நியூட்டன்: $1N = 1\ kg\ m\ s^{-2}$.

   (அ) இரண்டாம் விதி முதல் விதியுடன் ஒவ்வுகிறது. அதாவது

   $$\boldsymbol{F} = 0 \Longrightarrow\ \boldsymbol{a} = 0$$

   (ஆ) இது ஒரு திசையச்சமன்பாடு.

   (இ) இது ஒரு துகள், பொருள், துகள்களின் அமைப்பு ஆகியவற்றுக்கு பயனாகிறது; அதற்காக, $\boldsymbol{F}$ அமைப்பின்மீது செயலாற்றும் மொத்த புறவிசையாகவும் $\boldsymbol{a}$ முழு அமைப்பின் முடுக்கமாகவும் இருக்கவேண்டும்.

   (ஈ) ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரு புள்ளியிலுள்ள $\boldsymbol{F}$ அந்த நேரத்தில் அந்த புள்ளியிலுள்ள $\boldsymbol{a}$யை தீர்மானிக்கிறது. அதாவது இரண்டாம் விதி ஒரு அருகிட விதி; எந்த நேரத்திலும் $\boldsymbol{a}$ அசைவின் வரலாற்றை சார்ந்திருக்கவில்லை.
5. கணத்தாக்கம் என்பது விசையையும் நேரத்தையும் பெருக்கியது. இது உந்தத்தின் மாற்றத்துக்கு சமம். கணத்தாக்கம் என்ற கருத்துரு ஒரு பெரிய விசை மிகச்சிறு நேரத்துக்கு செயலாற்றி உந்தத்தில் ஒரு அளக்கத்தகு மாற்றத்தை உண்டாக்கும்போது பயனுள்ளது. விசை செயலாற்றும் நேரம் மிகக்குறைவு என்பதால் கணத்தாக்கவிசை செயலாற்றும் நேரத்தில் பொருளின் இடநிலையில் கருதத்தகு மாற்றம் இல்லை என்று எடுகொள்ளலாம்.
6. அசைவுக்கான நியூட்டனின் மூன்றாம் விதி:

   ஒவ்வொரு வினைக்கும் சமமான ஒரு எதிர்வினை எப்போதும் உண்டு.

   எளிய சொற்களால் இந்த விதியை கீழ்க்காணுமாறு உரைக்கலாம்:

   இயற்கையில் விசைகள் எப்போதும் சோடிப்பொருள்களிடையில் ஏற்படுகின்றன. A யின்மீதான Bயின் விசை Bயின்மீதான Aயின் விசைக்கு சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கிறது.

   வினையின் விசையும் எதிர்வினையின் விசையும் உடன்னிகழ்விசைகள். வினைக்கும் எதிர்வினைக்குமிடையில் காரணவிளைவான உறவு இல்லை. ஒன்றுக்கொன்றான இந்த விசைகளுள் எதையும் வினை என்றும் மற்றதை எதிர்வினை என்றும் அழைக்கலாம். வினையும் எதிர்வினையும் வெவ்வேறு பொருள்களில் செயலாற்றுகின்றன. எனவே அவை ஒன்றையொன்று நீக்கிவிட இயலாது. ஒரு பொருளில் வெவ்வேறு பகுதிகளிடையான வினையின் விசையும் எதிர்வினையின் விசையுமான அகவிசைகளின் மொத்தக்கூட்டுத்தொகை சுழியம்.
7. *உந்தத்தின் அழியாக்காப்புவிதி:* துகள்களின் ஒரு தனியமைப்பின் மொத்த உந்தம் அழியாக்காப்புறுகிறது. இந்த விதியை அசைவின் இரண்டாம் விதியிலிருந்தும், மூன்றாம் விதியிலிருந்தம் பெறுகிறோம்.

8. *உராய்வு:* உராய்வுவிசை தொடுகையிலிருக்கும் இரண்டு பொருள்களிடையான வரப்போவதோ வந்ததோவான ஒப்பளவ அசைவை எதிர்க்கிறது. இது தொடுகைப்பரப்பின் தொடுகோட்டுக்கு நேராக தொடுகைவிசையின் அகை. நிலைமவுராய்வு ($f_{நி}$) வரப்போகும் ஒப்பளவசைவை எதிர்க்கிறது. இயக்கவுராய்வு ($f_{இ}$) நடைபெறும் ஒப்பளவசைவை எதிர்க்கிறது. இவை தொடுகைப்பரப்பின் பரப்பளவை சார்ந்திருக்கவில்லை. அவை கீழ்க்காணும் உறவுகளை நிறைவேற்றுகின்றன.

$$f_{நி} \leq f_{மீநி} = \mu_{நி} R$$

$$f_{இ} = \mu_{இ} R$$

இங்கு நி, இ, மீ ஆகிய அடியொட்டுகள் முறையே நிலைம, இயக்க, மீப்பெரும ஆகிய சொற்களை குறிக்கின்றன. $\mu_{நி}$ என்ற நிலைமவுராய்வுக்கெழுவும் $\mu_{இ}$ என்ற இயக்கவுராய்வுக்கெழுவும் தொடுகைப்பரப்பின் சிறப்பியல்புகள். $\mu_{இ} < \mu_{நி}$ என்று பரிசோதனைகளால் காண்கிறோம்.

அளவு	அடையாளம்	அலகுகள்	பருமானங்கள்	குறிப்புகள்
உந்தம்	$\boldsymbol{p}$	$kg\, m\, s^{-1} = N\, s$	$[MLT^{-1}]$	திசையன்
விசை	$\boldsymbol{F}$	N	$[MLT^{-2}]$	$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ இரண்டாம்விதி
கணத்தாக்கம்		$kg\, m\, s^{-1} = N\, s$	$[MLT^{-1}]$	கணத்தாக்கம் = விசை × நேரம் = உந்தமாற்றம்
நிலைமவுராய்வு	$\boldsymbol{f}_{நி}$	N	$[MLT^{-2}]$	$\boldsymbol{f}_{நி} \leq \mu_{நி}\boldsymbol{N}$
இயக்கவுராய்வு	$\boldsymbol{f}_{இ}$	N	$[MLT^{-2}]$	$\boldsymbol{f}_{இ} = \mu_{இ}\boldsymbol{N}$

உங்கள் சிந்தனைக்கு

1. விசை எப்போதும் அசைவின் திசையில் இருப்பதில்லை. நிலைமையைப்பொறுத்து $\boldsymbol{F}$ $\boldsymbol{v}$ க்கு நேராகவோ எதிராகவோ செங்குத்தாகவோ வேறெந்தக்கோணத்திலோ இருக்கலாம். ஆனால் எப்போதும் அது முடுக்கத்துக்கு இணையானது.
2. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் $\boldsymbol{v} = 0$ எனில், அதாவது ஒரு பொருள் கணநேரத்துக்கு ஓய்விலிருந்தால், அந்த நேரத்தில் விசையோ முடுக்கமோ சுழியம் என்ற பொருளில்லை. சான்றாக, மேனோக்கி எறிந்த பந்து மீயதிய உயரத்தை அடையும்போது $\boldsymbol{v} = 0$; ஆனால் விசை எப்போதும் பந்தின் எடையான mg; முடுக்கம் g, சுழியமன்று.
3. ஒரு நேரத்தில் ஒரு பொருளின்மீதான விசையை அந்த நேரத்தில் பொருளின் இருப்பிடத்திலுள்ள நிலைமை தீர்மானிக்கிறது. பொருள் அசைவின் வரலாற்றிலிருந்து விசையை தாங்கிச்செல்வதில்லை. ஒரு கல் முடுக்கமடையும் தொடர்வண்டியிலிருந்து விடுபட்டவுடனே (சூழமைவின் விளைவை புறக்கணித்தால்) கல்லின்மீது ஒரு கிடைமட்ட விசையோ முடுக்கமோ இல்லை. அதன்பின் கல்லின்மீது புவியீர்ப்பின் நெடுநிற்ப விசையே செயலாற்றுகின்றது.
4. அசைவின் இரண்டாம் விதியில் $\boldsymbol{F} = m\,\boldsymbol{a}$. இங்கு $\boldsymbol{F}$ பொருளுக்கு வெளியுள்ள எல்லா பொருண்மங்களும் செலுத்தும் நிகர விசையை குறிக்கிறது; $\boldsymbol{a}$ விசையின் விளைவு. $m\,\boldsymbol{a}$ என்பதை $\boldsymbol{F}$இலிருந்து வேறுபட்ட மற்றொரு விசையாக நாம் கருதவேண்டியதில்லை.
5. மையநோக்குவிசையை மற்றொருவகையான விசையாக நாம் கருதவேண்டியதில்லை. இது வட்டமான அசைவிலுள்ள ஒரு பொருளுக்கு உண்ணோக்கிய ஆரமுடுக்கத்தை வழங்கும் விசைக்கு வழங்கிய ஒரு பெயரேயன்றி வேறன்று. வட்டசைவில் மையநோக்கிய விசையின் காரணமாக விறைப்பு, புவியீர்ப்புவிசை, மின்விசை, உராய்வு, இன்ன பிறவான ஒரு பொருண்மவிசையை நாம் எப்போதும் எதிர்பார்க்கலாம்.
6. நிலைமவுராய்வு ($f_{நி}$) ஒரு எல்லைவரை தானே சரிக்கட்டக்கூடியது. அந்த எல்லையை $\mu_{நி}\, N$ என்று குறிக்கலாம். $f_{நி} \leq \mu_{நி}\, N$. நிலைமவுராய்வின் மீப்பெரும மதிப்பு செயலாற்றுவது தெரிந்தால் மட்டுமே $f_{நி} = \mu_{நி}\, N$ என்று இடுக.

7. மேசைமீதுள்ள ஒரு பொருளுக்கு நாம் நன்கறிந்த $mg = R$ என்ற உறவு பொருள் சமநிலையில் இருக்கும்போதே உண்மையாகிறது. mg , R என்ற இரண்டு விசைகளும் வேவ்வேறாக இருக்கவியலும்; முடுக்கமடையும் தூக்கியிலுள்ள பொருள் ஒரு சான்று. mg , R ஆகியவற்றின் சமன்மைக்கும் மூன்றாம் விதிக்கும் தொடர்பில்லை.
8. அசைவின் மூன்றாம் விதியில் இடம்பெறும் வினை, எதிர்வினை என்ற சொற்கள் ஒரு சோடிப்பொருள்களிடையான ஒன்றுக்கொன்றான உடனிகழ்விசைகளை குறிக்கின்றன. இயன்மொழியில் வினையின் விளைவாக எதிர்வினை நிகழ்வதாக நாம் எண்ணும் காரணவிளைவு இங்கு இல்லை. வினையும் எதிர்வினையும் வெவ்வேறு பொருள்களில் செயலாற்றுகின்றன.
9. உராய்வு, செங்குத்தெதிர்வினை, விறைப்பு, வளித்தடையம், பாகுமையிழுமை, தள்ளமுக்கம், மிதப்பு, எடை, மையநோக்குவிசை போன்ற சொற்களெல்லாம் வெவ்வேறு சூழமைவுகளில் விசைகளையே குறிக்கின்றன. தெளிவுக்காக ஒவ்வொரு விசையையும் அதற்கு நிகராக எந்திரவியலில் எதிர்கொள்ளும் சொல்லையும் 'Aயின்மீது Bயின் விசை' என்றவாறு பொருள்கொள்ளவேண்டும்.
10. அசைவின் இரண்டாம் விதியை பயனாக்குவதில் உயிருள்ள பொருளுக்கும் உயிரற்ற பொருளுக்கும் வேறுபாடு இல்லை. மனிதர் உட்பட, உயிருள்ள பொருளுக்கும் அசைவுக்கு புறவிசை தேவையாகிறது. சான்றாக, உராய்வு என்ற புறவிசை இல்லாமல் நம்மால் தரையில் நடக்கவும் இயலாது.
11. இயற்பியலில் விசை என்ற விருப்புசாராக்கருத்துருவை விசையின் உணர்வு என்ற விருப்புசார் கருத்துருவுடன் குழப்பிக்கொள்ளக்கூடாது. ஒரு சுழலாட்டியில் சுற்றும்போது நம் உடலின் எல்லாப்பாகங்களும் ஒரு உண்ணோக்கிய விசைக்குள்ளாகிறது. ஆனால் நாம் வெளியே தள்ளப்படுவதுபோல் உணர்கிறோம். இது வரப்போகும் அசைவின் திசை.

பயிற்சிகள்

(எளிமைக்காக, எண்கணிப்பக்கணக்கீடுகளில் $g = 10\ m\ s^{-2}$ எனக்கொள்க.)

5.1 கீழ்க்காண்பவற்றின்மீது செயலாற்றும் நிகர விசையின் பருமனளவையும் திசையையும் தருக.

a. மாறாவேகத்துடன் விழும் மழைத்துளி
b. நீரில் மிதக்கும் $10\ g$ நிறையுள்ள தக்கை
c. மிகுந்த திறமையுடன் வானில் நிலையாக வைத்திருக்கும் பட்டம்
d. சொரசொரப்பான சாலையில் $30\ km/h$ வேகத்தில் பயணிக்கும் சிற்றுந்து
e. பொருண்மங்களிலிருந்து வெகுதொலைவிலும் மின்காந்தப்புலம் இல்லாததுமான வெற்றுவெளியிலுள்ள ஒரு அதிவேக எதிர்மின்னி

5.2 $0.05\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு கூழாங்கல்லை நெடுநிற்பமாக மேனோக்கி எறிகிறோம். கீழுள்ள சூழ்நிலைகளில் கூழாங்கல்லின்மீதான நிகர விசையின் பருமனளவையும் திசையையும் தருக.

a. மேனோக்கிய அசைவின்போது
b. கீழ்நோக்கிய அசைவின்போது
c. மீப்பெரும உயரத்தில் அது கணநேரத்துக்கு ஓய்விலிருக்கும்போது

கூழங்கல்லை கிடைமட்டத்திலிருந்து $45°$ கோணத்தில் எறிந்தால் உங்கள் விடைகள் மாறுகின்றனவா? தடையத்தை புறக்கணிக்க.

5.3 $0.1\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு கல்லை கீழ்க்காணும் அசைவுகளுக்கு உட்படுத்தும்போது கல்லில் செயலாற்றும் நிகர விசையின் பருமனளவையும் திசையையும் தருக. எல்லா வேற்றுவங்களிலும் வளித்தடையத்தை புறக்கணிக்க.

a. நின்றிருக்கும் ஒரு தொடர்வண்டியின் பலகணியிலிருந்து போட்டபின்
b. $36\ km/h$ மாறாவேகத்தில் ஓடும் ஒரு வண்டியின் பலகணியிலிருந்து போட்டபின்
c. $1\ m\ s^{-2}$ முடுக்கமடையும் ஒரு வண்டியின் பலகணியிலிருந்து போட்டபின்
d. $1\ m\ s^{-2}$ முடுக்கமடையும் வண்டியின் தரையில் வண்டியின் ஒப்பளவில் ஓய்வில் போட்டிருக்கும்போது

5.4 l நீளமான ஒரு சரத்தின் ஒரு நுனியை m நிறையுள்ள ஒரு துகளுடனும் மறு நுனியை வழவழப்பான கிடைமட்ட மேசையிலுள்ள ஒரு சிறு முளையுடனும் இணைக்கிறோம். துகள் மேசையின்மீது v வேகத்துடன் வட்டப்பாதையில் அசைந்தால் அதன்மீதுள்ள மையநோக்கிய நிகர விசை

a. T
b. $T - \frac{mv^2}{l}$
c. $T + \frac{mv^2}{l}$
d. 0

இங்கு T சரத்தின் விறைப்பு. (சரியான விடையை தேர்ந்தெடுக்க.)

5.5 தொடக்கத்தில் $15\, m\, s^{-1}$ வேகத்தில் அசையும் $20\, kg$ நிறையுள்ள ஒரு பொருளின்மீது $50\, N$ மாறா வேகங்குறைக்கும் விசையை செலுத்துகிறோம். பொருள் நிற்க எவ்வளவு நேரம் ஆகும்?

5.6 $3.0\, kg$ நிறையின்மீது செயலாற்றும் ஒரு மாறாவிசை அதன் வேகத்தை $2.0\, m\, s^{-1}$ இலிருந்து $3.5\, m\, s^{-1}$ க்கு $25\, s$ இல் மாற்றுகிறது. பொருள் அசையும் திசை மாறாமலிருக்கிறது. விசையின் பருமனளவும் திசையும் யாவை?

5.7 $5\, kg$ நிறையுள்ள ஒரு பொருளின்மீது $8\, N$, $6\, N$ ஆகிய இரண்டு செங்குத்தான விசைகள் செயலாற்றுகின்றன. பொருளின் முடுக்கத்தின் பருமனளவையும் திசையையும் தருக.

5.8 $36\, km/h$ வேகத்தில் ஓடிக்கொண்டிருக்கும் ஒரு மூவுருளியின் ஓட்டுநர் சாலையின் நடுவில் நிற்கும் ஒரு குழந்தையை கண்டு வண்டியை நிறுத்த $4.0\, s$ ஆகிறது. ஊர்தியின் சராசரியான வேகங்குறைவிசை என்ன? மூவுருளியின் நிறை $400\, kg$; ஓட்டுநரின் நிறை $65\, kg$.

5.9 $20\,000\, kg$ மேலெழுநிறையுள்ள ஒரு ஏவூர்தி $5.0\, m\, s^{-2}$ தொடக்கமுடுக்கத்துடன் ஏவப்படுகிறது. ஏவும்போது ஏற்படும் அழுத்தத்தை (விசையை) கணக்கிடுக.

5.10 தொடக்கத்தில் $10\, m\, s^{-1}$ வேகத்துடன் வடக்குநோக்கி அசையும் $0.40\, kg$ நிறையுள்ள ஒரு பொருள் $30\, s$க்கு தெற்குநோக்கிய $8.0\, N$ விசைக்குள்ளாகிறது. விசை செலுத்தப்படும் நேரத்தை $t = 0$ என்றும் அப்போது பொருளின் இடநிலையை $x = 0$ என்றும் கொண்டு, $t = -5\, s, 25\, s, 100\, s$ ஆகிய நேரங்களில் அதன் இடநிலையை முன்னறிக.

5.11 ஒரு சுமையூர்தி ஓய்விலிருந்து தொடங்கி சீராக $2.0\, m\, s^{-2}$ என்ற முடுக்கத்தை பெறுகிறது. $t = 10\, s$ இல் சுமையூர்தியின்மேல் (தரையிலிருந்து $6\, m$ உயரத்தில்) நின்றிருக்கும் ஒருவர் ஒரு கல்லை போடுகிறார். $t = 11s$யில் கல்லின் (அ) திசைவேகமும் (ஆ) முடுக்கமும் யாவை? (வளித்தடையத்தை புறக்கணிக்க.)

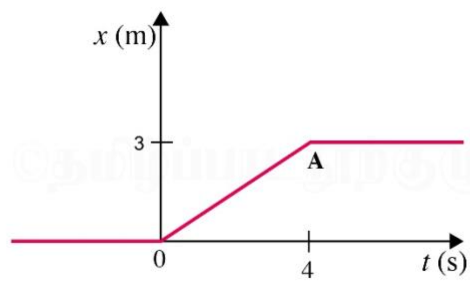
5.12 ஓரறையின் கூரையிலிருந்து $0.1\, kg$ நிறையுள்ள ஒரு குண்டை $2\, m$ நீளமான சரத்தால் தொங்கவிட்டு ஆடச்செய்கிறோம். குண்டின் இடைம நிலையில் அதன் வேகம் $1\, m\, s^{-1}$. குண்டு (அ) மீயளவ இடநிலைகளுள் ஒன்றில் இருக்கும்போதும் (ஆ) இடைய நிலையில் இருக்கும்போதும் சரத்தை வெட்டினால், குண்டின் வீசுபாதை என்ன?

5.13 $70\, kg$ நிறையுள்ள ஒருவர்

a. மேனோக்கிய சீரான $10\, m\, s^{-1}$ வேகத்தில்
b. கீழ்நோக்கிய சீரான $5\, m\, s^{-2}$ முடுக்கத்துடன்
c. மேனோக்கிய சீரான $5\, m\, s^{-2}$ முடுக்கத்துடன்

அசையும் ஒரு தூக்கியிலுள்ள ஒரு எடைத்தராசில் நிற்கிறார். ஒவ்வொரு வேற்றுவத்திலும் தராசு காட்டும் எடை என்ன?

d. தூக்கியின் இயங்குமுறை செயலிழந்து தூக்கி புவியீர்ப்பால் கட்டின்றி கீழே விழுந்தால் தராசு என்ன காட்டும்?



படம் 5.16

5.14 படம் 5.16இல் $4\, kg$ நிறையுள்ள ஒரு துகளின் இடநிலைக்கும் நேரத்துக்குமான வரைபடம் உள்ளது. (அ) $t < 0,\ t > 4\, s,\ 0 < t < 4\, s$ ஆகியவற்றுக்கு துகளின்மீதான விசை என்ன? (ஆ) $t = 0,\ 4\, s$ ஆகிய நேரங்களில் கணத்தாக்கம் என்ன?

5.15 ஒரு வழவழப்பான கிடைமட்ட பரப்பில் வைத்த $10\, kg$, $20\, kg$ நிறையுள்ள இரண்டு பொருள்களை ஒரு சரத்தின் இரண்டு நுனிகளில் கட்டுகிறோம். $F = 600\, N$ என்ற ஒரு கிடைமட்ட விசையை (அ) Aயின்மீது (ஆ) Bயின்மீது சரத்துக்கு நேரான திசையில் செலுத்துகிறோம். ஒவ்வொரு வேற்றுவத்திலும் சரத்திலுள்ள விறைப்பு என்ன?

5.16 $8\, kg$, $12\, kg$ ஆகிய இரண்டு நிறைகள் உராய்வற்ற ஒரு கப்பியினூடே செல்லும் நிறைகுறைந்த நீட்டத்தகாத சரத்தின் இரண்டு நுனிகளில் இணைந்துள்ளன. நிறைகள் விடுபடும்போது அவற்றின் முடுக்கங்களையும் சரத்தின் விறைப்பையும் காண்க.

5.17 ஒரு அணுக்கரு சோதனைக்கூடத்தின் நோக்கீட்டுச்சட்டத்தில் ஓய்விலிருக்கிறது. அது இரண்டு சிறு அணுக்கருக்களாக சிதைந்தால் விளைபொருள்கள் எதிரெதிர்த்திசைகளில் அசையவேண்டும் என்று காட்டுக.

5.18 ஒவ்வொன்றும் $0.05\, kg$ நிறையுள்ளவையும் எதிரெதிர்த்திசைகளில் $6\, m\, s^{-1}$ வேகத்தில் அசைவனவுமான இரண்டு பில்லியட்டுப்பந்துகள் மோதி அதே வேகத்தில் விலகுகின்றன. ஒவ்வொரு பந்துக்கும் மற்றது வழங்கும் கணத்தாக்கம் என்ன?

5.19 $0.020\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு குண்டை $100\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு எய்வி எய்கிறது. குண்டின் முகப்புவேகம் $80\ m\ s^{-1}$ எனில், எய்வியின் பின்னுந்த வேகம் என்ன?

5.20 ஒரு மட்டையர் பந்தின் $54\ km/h$ என்ற தொடக்க வேகத்தை மாற்றாமல் $45°$ திசைமாற்றுகிறார். பந்தின்மீது செலுத்திய கணத்தாக்கம் என்ன? (பந்தின் நிறை $0.15\ kg$.)

5.21 ஒரு சரத்தின் நுனியில் கட்டிய $0.25\ kg$ நிறையுள்ள கல்லை $1.5\ m$ ஆரமுள்ள கிடைமட்ட வட்டத்தில் நிமிடத்துக்கு 40 சுற்றுகள் வீதத்தில் சுற்றுகிறோம். சரத்திலுள்ள விறைப்பு என்ன? சரம் தாக்குப்பிடிக்கும் மீப்பெறும விறைப்பு $200\ N$ எனில், கல்லை சுற்றக்கூடிய மீப்பெரும வேகம் என்ன?

5.22 மேலுள்ள 21ஆம் பயிற்சியில் கல்லின் வேகம் மீப்பெரும அளவை மீறுவதால் சரம் அறுந்துவிடுகிறது. அப்போது கீழ்க்காண்பவற்றுள் எது கல்லின் சரியான வீசுபாதையை விவரிக்கிறது?

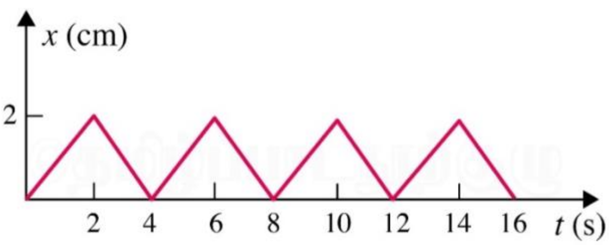
a. கல் ஆரத்திசையில் வெளியே நகர்கிறது.
b. கல் சரம் அறுந்த நேரத்தில் தொடுகோட்டுக்கு நேராக பறக்கிறது.
c. கல் தொடுகோட்டிலிருந்து வேகத்தைச்சார்ந்த ஒரு கோணத்தில் பறக்கிறது.

5.23 ஏனென்று விளக்குக.

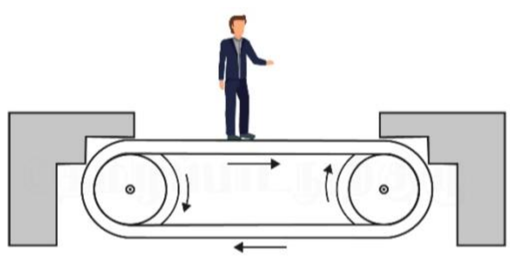
a. ஒரு குதிரை வண்டியை இழுத்துக்கொண்டு வெற்றுவெளியில் ஓடவியலாது.
b. ஓடிக்கொண்டிருக்கும் பேருந்து திடீரென்று நிற்கும்போது பயணிகள் முன்னோக்கி எறியப்படுகிறார்கள்.
c. ஒரு புல்வெட்டும் எந்திரத்தை தள்ளுவதைவிட இழுப்பது எளிது.
d. ஒரு மட்டைப்பந்தாட்டர் பந்தை பிடிக்கும்போது கையை பின்னோக்கி அசைக்கிறார்.

மேலும் பயிற்சிகள்

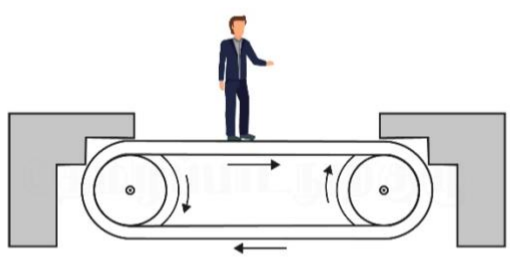
5.24 படம் 5.17 $0.04\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு பொருளின் இடநிலைக்கும் நேரத்துக்குமான வரைபடத்தை காட்டுகிறது. இந்த அசைவுக்கு பொருத்தமான ஒரு இயற்கைச்சூழமைவை கூறுக. அடுத்தடுத்த இரண்டு கணத்தாக்கங்களிடையான நேரம் என்ன? ஒவ்வொரு கணத்தாக்கத்தின் பருமனளவு என்ன?



படம் 5.17



படம் 5.18



5.25 படம் 5.18 ஒரு மனிதன் $1\ m\ s^{-2}$ முடுக்கத்துடன் அசையும் கொண்டுசெல்லிவாரின் ஒப்பளவில் நிலையாக நிற்பதை காட்டுகிறது. மனிதனின்மீதான நிகர விசை என்ன? வாருக்கும் மனிதனின் காலணிக்குமிடையான நிலைமவுராய்வுக்கெழு 0.2 எனில், வாரின் எந்த முடுக்கம்வரை மனிதன் சறுக்காமல் நிற்கலாம்? (மனிதனின் நிறை $= 65\ kg$.)

5.26 ஒரு சரத்தின் நுனியில் கட்டிய m நிறையுள்ள கல் R ஆரமுள்ள ஒரு நெடுநிற்ப வட்டப்பாதையில் சுற்றுகிறது. வட்டத்தின் மீயுயரப்புள்ளியிலும் மீத்தாழ்ந்த புள்ளியிலும் நெடுநிற்பமாக கீழ்நோக்கிய நிகர விசைகள் (சரியான விடையை தேர்ந்தெடுக்க.)

மீத்தாழ்ந்த புள்ளி	மீயுயரப்புள்ளி
a. $mg - T_1$	$mg + T_2$
b. $mg + T_2$	$mg - T_2$
c. $mg + T_1 - \frac{mv_1^2}{R}$	$mg - T_2 + \frac{mv_2^2}{R}$
d. $mg - T_1 - \frac{mv_1^2}{R}$	$mg + T_2 + \frac{mv_2^2}{R}$

இங்கு T_1, v_1 மீத்தாழ்ந்த புள்ளியில் முறையே விறைப்பையும் வேகத்தையும், T_2, v_2 மீயுயரப்புள்ளியில் அந்த மதிப்புகளையும் குறிக்கின்றன.

5.27 $1000\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு சுழலிறகி $15\ m\ s^{-2}$ நெடுநிற்ப முடுக்கத்துடன் மேலேறுகிறது. பணிக்குழுவினரும் பயணிகளும் $300\ kg$ நிறையுள்ளவர்கள்.

a. தரையில் பணிக்குழுவும் பயணிகளும் செலுத்தும் விசை
b. சுழலிறகியின் சுழலி சூழலிலுள்ள வளியில் செலுத்தும் வினை
c. சுழலிறகியின்மீது சூழல்வளியின் விசை

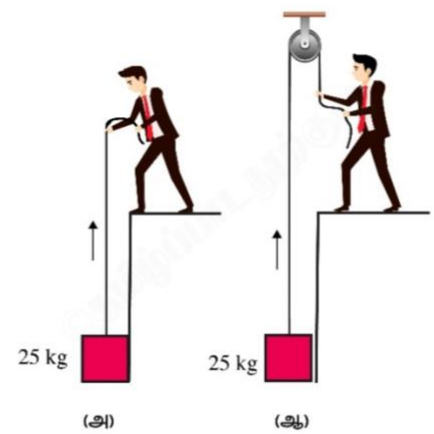
ஆகியவற்றின் பருமனளவுகளையும் திசைகளையும் தருக.

5.28 $15\ m\ s^{-1}$ வேகத்தில் கிடைமட்டமாக பாயும் ஒரு நீரோடை $10^{-2}\ m^2$ குறுக்குப்பரப்புள்ள ஒரு குழாயின்வழியாக வெளியேறி அருகிலுள்ள ஒரு நெடுநிற்பமான சுவரில் மோதுகிறது. நீர் பின்றெறிக்கவில்லை என்ற எடுகோளுடன், நீர் சுவரின்மீது செலுத்தும் விசை என்ன?

5.29 ஒரு மேசையில் பத்து நாணயங்களை ஒன்றன்மீதொன்றாக வைக்கிறோம். ஒவ்வொரு நாணயமும் m நிறையுள்ளது.

a. (அடியிலிருந்து) 7ஆம் நாணயத்தின்மீது அதன்மீதுள்ள எல்லா நாணயங்களின் விசை
b. 7ஆம் நாணயத்தின்மீது எட்டாம் நாணயத்தின் விசை
c. 7ஆம் நாணயத்தின்மீது ஆறாம் நாணயத்தின் எதிர்வினை

ஆகியவற்றின் பருமனளவுகளையும் திசைகளையும் தருக.



படம் 5.19

5.30 ஒரு வானூர்தி அதன் சிறகுகளை 15° சாய்த்து $720\ km/h$ வேகத்தில் கிடைமட்ட வட்டப்பாதையை மேற்கொள்கிறது. வட்டத்தின் ஆரம் என்ன?

5.31 ஒரு தொடர்வண்டி $30\ m$ ஆரமுள்ள வட்டமான சாய்வரப்பிடாத சுவட்டில் $54\ km/h$ வேகத்தில் ஓடுகிறது. தொடர்வண்டியின் நிறை $10^6\ kg$. தேவையான மையநோக்குவிசையை தருவது எது, தொடர்வண்டியின் பொறியா, தண்டவாளமா? தண்டாவாளத்தின் தேய்மானத்தை தடுக்க தேவையான சாய்வரப்பின் கோணம் என்ன?

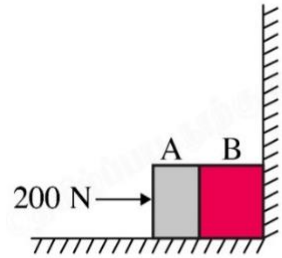
5.32 $25\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு கட்டியை $50\ kg$ மனிதன் படம் 5.19இல் காட்டிய இரண்டு விதங்களில் தூக்குவதை கருதுக. இரண்டு வேற்றுவங்களிலும் மனிதன் தரையில் செலுத்தும் வினை என்ன? தரை $700\ N$ செங்குத்துவிசையில் விட்டுக்கொடுக்கிறது எனில், தரை விட்டுக்கொடுக்காதவகையில் கட்டியை தூக்க மனிதன் எந்த முறையை பயன்படுத்தவேண்டும்?

படம் 5.20

5.33 $40\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு குரங்கு படம் 5.20இல் காட்டியபடி ஒரு கயிற்றில் ஏறுகிறது. கயிறு தாங்கக்கூடிய மீப்பெரும விறைப்பு $600\ N$. குரங்கின் கீழ்க்காணும் செயல்களுள் எந்த வேற்றுவத்தில் கயிறு அறுந்துபோகும்?

a. $6\ m\ s^{-2}$ முடுக்கத்தில் ஏறுகிறது
b. $4m\ s^{-2}$ முடுக்கத்தில் இறங்குகிறது
c. $5\ m\ s^{-1}$ சீரான வேகத்தில் ஏறுகிறது
d. கயிற்றிலிருந்து புவியீர்ப்புவிசையால் கட்டின்றி விழுகிறது(கயிற்றின் நிறையை புறக்கணிக்க.)

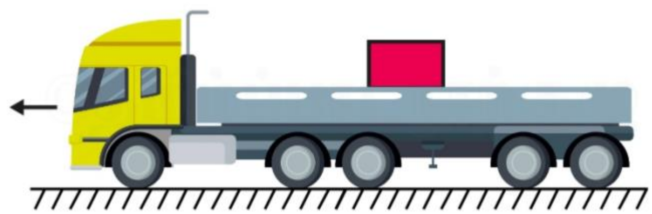
5.34 ஒன்றுக்கொன்று தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் முறையே $5\ kg$, $10\ kg$ நிறையுள்ள A, B ஆகிய இரண்டு பொருள்கள் ஒரு மேசையில் நெளியாச்சுவரையொட்டி இருக்கின்றன (படம் 5.21). மேசையிலுள்ள பொருள்களிடையான உராய்வுக்கெழு $015.$ Aயின்மீது $200\ N$ விசையை கிடைமட்டமாக செலுத்துகிறோம். (அ) Aக்கும் Bக்குமிடையான வகிர்வில் எதிர்வினை என்ன? (ஆ) அவற்றுக்கிடையில் வினையெதிர்வினைக்கான விசைகளை யாவை? சுவர் இல்லாமலிருந்தால் என்ன ஆகும்? பொருள்கள் அசைவிலிருக்கும்போது (ஆ)வின் விடை மாறுகிறதா? $\mu_{நி}$, $\mu_{இ}$ ஆகியவற்றின் வேறுபாட்டை புறக்கணிக்க.



படம் 5.21

5.35 $15\ kg$ நிறையுள்ள ஒரு கட்டியை ஒரு நீண்ட தள்ளுவண்டியில் வைக்கிறோம். கட்டிக்கும் தள்ளுவண்டிக்குமிடையான நிலைமவுராய்வின் கெழு 0.18. தள்ளுவண்டி ஓய்விலிருந்து $20\ s$க்கு $0.5\ m\ s^{-2}$ முடுக்கத்தை பெற்று அதன்பின் சீரான திசைவேகத்தில் அசைகிறது. கட்டியில் அசைவை (அ) தரையில் நிலையாக நிற்பவரது நோக்குநிலையிலும் (ஆ) தள்ளுவண்டியுடன் அசைபவரது நோக்குநிலையிலும் உரையளிக்க.

5.36 ஒரு சுமையுந்தின் பின்பக்கம் திறந்திருக்கிறது. அதன் திறந்த நுனியிலிருந்து $5\ m$ தொலைவில் ஒரு $40\ kg$ நிறையுள்ள பெட்டி படம் 5.22இல் காட்டியபடி இருக்கிறது. பெட்டிக்கும் அதன் கீழுள்ள பரப்புக்குமிடையான உராய்வின் கெழு 0.15. நேரான ஒரு சாலையில் சுமையுந்து ஓய்விலிருந்து தொடங்கி $2\ m\ s^{-2}$ முடுக்கமடைகிறது. தொடக்கப்புள்ளியிலிருந்து எவ்வளவு தொலைவில் பெட்டி சுமையூர்தியிலிருந்து கீழ் விழும்? (பெட்டியின் அளவை புறக்கணிக்க.)


படம் 5.22

5.37 $15\ cm$ ஆரமுள்ள ஒரு வட்டு நிமிடத்துக்கு $33\frac{1}{3}$ சுற்றுகள் என்ற வீதத்தில் சுற்றுகிறது. அதன் மையத்திலிருந்து $4\ cm$, $14\ cm$ ஆகிய தொலைவுகளில் இரண்டு நாணயங்களை வைக்கிறோம். நாணயத்துக்கும் வட்டுக்குமிடையான உராய்வுக்கெழு 0.15 எனில், எந்த நாணயம் வட்டுடன் சுற்றும்?

5.38 சுழற்காட்சியில் ஒரு உந்துருளியர் 'மரணக்கிணற்றில்' (பார்வையாளர்கள் வெளியிலிருந்து பார்க்கும்படி துளைகளுள்ள ஒரு உள்வமற்ற கோள அறையில்) நெடுநிற்பமான வட்டச்சுழலில் ஓட்டுவதை நீங்கள் கண்டிருக்கலாம். உந்துருளியர் மீவுயரப்புள்ளியில் கீழிருந்து எந்த ஆதாரமுமில்லாமல் இருக்கும்போது ஏன் கீழ் விழவில்லை என்பதை விளக்குக. அறையின் ஆரம் $25\ m$ எனில், நெடுநிற்பச்சுழலை செய்துகாட்ட மீயுயரப்புள்ளியில் தேவையான மீக்குறைவான வேகம் என்ன?

5.39 ஒரு $70\ kg$ மனிதர் நெடுநிற்ப அச்சில் நிமிடத்துக்கு 200 சுற்றுகளை சுற்றும் $3\ m$ ஆரமுள்ள உள்வமற்ற உருளையில் உட்சுவரை தொட்டு நிற்கிறார். அவரது ஆடைக்கும் சுவருக்குமான உராய்வுக்கெழு 0.15. உருளையின் தரையை திடீரென்று நீக்கும்போது மனிதர் கீழ் விழாமல் சுவருடன் ஒட்டிக்கொண்டிருக்க தேவையான மீக்குறைந்த வேகம் என்ன?

5.40 R ஆரமுள்ள ஒரு மெல்லிய வளையம் அதன் நெடுநிற்ப விட்டத்தைப்பற்றி ω கோணவேகத்தில் சுற்றுகிறது. வளையத்தில் கோத்த ஒரு சிறு மணி $\omega \leq \sqrt{g/R}$ என்றபோது மீத்தாழ்ந்த புள்ளியில் இருக்கிறது என்று காட்டுக. $\omega = \sqrt{2g/R}$ என்றபோது மையத்தையும் மணியையும் இணைக்கும் ஆரத்திசையன் கீழ்நோக்கிய நெடுநிற்பத்திசையுடன் தாங்கும் கோணம் என்ன? உராய்வை புறக்கணிக்க.