

அலைகள்

- 15.1 அறிமுகம்
- 15.2 நெடுக்கலைகளும் குறுக்கலைகளும்
- 15.3 பயணலையில் இடப்பெயர்ச்சியுறுவு
- 15.4 பயணலையின் வேகம்
- 15.5 அலைகளின் எதிரடிப்பு
- 15.6 அலைகளின் மேலமைவுக்கொள்கை
- 15.7 விம்மல்கள்
- 15.8 தாப்பிளரின் விளைவு
- சுருக்கவுரை
- உங்கள் சிந்தனைக்கு
- பயிற்சிகள்
- மேலும் பயிற்சிகள்

15.1 அறிமுகம்

சென்ற படலத்தில் தனிமையில் அலைவுறும் பொருள்களின் அசைவை கற்றோம். அதுபோன்ற பொருள்கள் திரண்டிருக்கும் ஒரு அமைப்பில் என்னாகும்? பொருண்மலுடகம் ஒரு சான்று. இங்கு, மீண்மவிசைகள் உள்ளடங்கி களை ஒன்றுடனொன்று பிணைப்பதால் ஒன்றின் அசைவு மற்றவற்றில் விளைவூட்டுகிறது. ஒரு சிறு கல்லை குளத்தின்மீது எறிந்தால் குளத்தின் பரப்பு அலைவுறுகிறது. இந்த அலைகள் ஒரே இடத்தில் இல்லாமல் வெளிப்புறமாக வட்டவடிவில் பரவுகின்றன. சிறு கற்களை போட்டுக்கொண்டேயிருந்தால் கலக்கமுற்ற இடத்திலிருந்து வட்டங்கள் விரைவாக வெளிநோக்கி அசைகின்றன. இது கலக்கமுற்ற இடத்திலிருந்து நீர் வெளிநோக்கி அசைவது போன்ற உணர்வை அளிக்கிறது. கலக்கமுற்ற நீரில் ஒரு தக்கையை போட்டால், தக்கை மேலுங்கீழும் அசைவதையும் வட்டத்திலிருந்து வெளிநோக்கி அசையாததையும் காணலாம். இது நீர் வெளிநோக்கி பாயவில்லை

என்பதையும் அசையும் ஒரு கலக்கமே உண்டாகிறது என்பதையும் காட்டுகிறது.

நாம் பேசும்போது வளி ஊடகத்தின் ஒரு பகுதியிலிருந்து மற்ற பகுதிகளுக்கு பாயாமலே ஒலி நம்மைவிட்டு விலகிச்செல்கிறது. வளியில் உண்டாகும் கலக்கத்தை காண்பது கடினம்; அதை காதுகளால் கேட்கவோ ஒலிவாங்கியால் துய்யறியவோ இயலும். பொருண்மத்தின் மாற்றலோ பாய்வோ இல்லாமல் அசையும் இந்த பாங்குகளை **அலைகள்** என்றழைக்கிறோம். இந்தப்படலத்தில் இவ்வாறான அலைகளை படிப்போம்.

அலைகள் ஆற்றலை மாற்றலாக்குகின்றன. கலக்கப்பாங்குகளில் தகவல் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றவிடங்களுக்கு பரவுகிறது. நம் எல்லா தகவற் றொடர்புகளும் அலைகளின்வழி சமிக்மைகளை அனுப்புவதை சார்ந்திருக்கின்றன. பேச்சு என்பது ஒலியலைகளை வளியில் உண்டாக்கு வது; கேட்பு அந்த அலைகளை துய்யறிவது. பலநேரங்களில் தகவற்றொடர்பில் பலவிதமான அலைகள் ஈடுபடுகின்றன. சான்றாக, ஒலியலைகள் முதலில் மின்னோட்டச்சமிக்மைக ளாக மாற்றமடையலாம். இவை உண்டாக்கும்

மின்காந்த அலைகளை ஒரு ஒளியவடத்தாலோ துணைக்கோளாலோ அனுப்பு கிறோம். தொடக்கச்சமிக்ைகைகளை துய்யறிய இந்த படிக்களை திருப்பமுறைமையில் செயலாற்ற வேண்டும்.

எல்லா அலைகளுக்கும் பரவுநடக்க ஊடகம் தேவையில்லை. ஒளியலைகள் வெற்றிடத்தில் பரவுநடக்கவியலும். உடுக்கள் உமிழும் ஒளி பல நூறு ஒளியாண்டுகள் தொலைவிலிருந்து புடவியின் வெற்றிடம்வழி நம்மை வந்துசேர்கிறது.

நமக்கு பழக்கமான நீரில் ஏற்படும் அலைகள், கம்பியில் ஏற்படும் அலைகள், ஒளியலைகள், நிலத்தின் அதிர்வலைகள் போன்றவை எந்திரவிய அலைகள். இவை பரவுநடக்க ஒரு ஊடகம் தேவை. இவை வெற்றிடத்தில் பரவுநடக்க இயலாது. இவை துகள்களின் அலைவுகளால் ஏற்படுகின்றன. இவை ஊடகத்தின் மீண்மப்பண்புகளை சார்ந்தவை. பன்னிரண்டாம் வகுப்பில் நீங்கள் படிக்கப்போகும் மின்காந்த அலைகள் வேறுவகையானவை. மின் காந்த அலைகள் பரவுநடக்க ஊடகம் தேவையில்லை. அவை வெற்றிடத்தில் பரவுநடக்கலாம். ஒளி, வானலைகள், ஊடுகதிர்கள் ஆகியவை மின்காந்த அலைகள். வெற்றிடத்தில் எல்லா மின்காந்த அலைகளுக்கும் ஒரே வேகம் உள்ளது. அதன் மதிப்பு

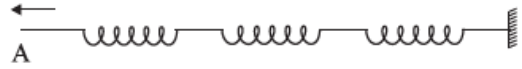
$$c = 299,792,458 \text{ m s}^{-1} \quad (15.1)$$

மூன்றாவது வகையான அலைகளை பருப்பொருளலைகள் என்கிறோம். இவை பருப்பொருளின் உள்ளடங்கிகளான எதிர்மின்னிகள், நேர்மின்னிகள், நொதுமிகள், அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் ஆகியவற்றுடன் தொடர்பானவை. இத்தகைய அலைகளை துணுக்க எந்திரவியலின் அடிப்படையில் புரிந்துகொள்ளலாம். இவற்றை நீங்கள் உயர்கல்வியில் படிப்பீர்கள். இவை எந்திரவிய அலைகளையும் மின்காந்த அலைகளையும்விட அதிக கருத்தளவானவை; எனினும் இவை இக்கால தொழினுட்பங்களுக்கு அடிப்படையான பல அமைகருவிகளில் ஏற்கெனவே பயன்படுகின்றன. எதிர்மின்னிகளுடன் தொடர்பான பருப்பொருளலைகள் எதிர்மின்னிதுண்ணோக்கியுடன் தொடர்பானவை.

இந்த படலத்தில் பரவுநடைக்காக ஒரு பொருண்மஊடகம் தேவைப்படும் எந்திரவிய அலைகளைப்பற்றி படிப்போம்.

அலைகள் கலையிலும் இலக்கியத்திலும் நெடுங்காலமாக எழிலியச்செல்வாக்கை செலுத்தியிருக்கின்றன. எனினும், இவற்றைப் பற்றிய அறிவியலாராய்ச்சிகள் பதினேழாம் நூற்றாண்டிலே தொடங்கின. அலைகளின் அசைவுகளைப்பற்றிய இயற்பியலுடன்

தொடர்பான சில புகழ்பெற்ற அறிவியலர்கள் கிருத்தியான் கய்கன்சு (1629-1695), இராபட்டு ஊக்கு, ஐசக்கு நியூட்டன் ஆகியோர். அலைகளின் இயற்பியலை புரிந்துகொண்டபின் விற்குருளில் கட்டப்பட்ட நிறைகளின் அலைவுக ளையும் எளிய ஊசலியின் அசைவுகளையும் புரிந்து கொண்டனர். மீண்ம ஊடகங்களில் உண்டாகும் அலைவுகள் ஒத்திசையலைவுகளுடன் நெருங்கிய தொடர்புள்ளவை. (நீட்டிய சரங்கள், சுருட்டிய விற்குருள்கள், வளி ஆகியவை மீண்மஊடகங்களுக்கு சான்றுகள்.) இந்த தொடர்புகளை எளிய சான்றுகளால் விளக்குவோம்.



படம் 15.1 ஒன்றுடனொன்று இணைந்த விற்குருள்களின் ஒரு தொகுதி. A என்று குறித்த நுனியை திடீரென்று இழுக்கும்போது ஒரு கலக்கம் தோன்றி மறுநுனிக்கு பரவுநடக்கிறது.

படம் 15.1இல் காட்டியபடி ஒன்றுடனொன்று இணைந்த விற்குருள்களின் தொகுப்பை கருதுக. ஒரு நுனியிலுள்ள ஒரு விற்குருளை திடீரென்று இழுத்துவிட்டால் இந்த கலக்கம் மறுநுனிக்கு பயணிக்கிறது. என்ன நிகழ்கிறது? முதல் விற்குருள் அதன் சமநிலைநீளத்திலிருந்து கலக்கமடைகிறது. இரண்டாம் விற்குருள் முதலாவதுடன் இணைந்திருப் பதால் அதுவும் நீட்சியடைந்தோ குறுக்கமடைந்தோ கலக்கமுறுகிறது. இவ்வாறே கலக்கம் ஒரு நுனியிலிருந்து மற்றதற்கு பயணிக்கிறது. ஆனால் ஒவ்வொரு விற்குருளும் தன் சமநிலையைப்பற்றி ஒரு சிறு அலைவையே மேற்கொள்கிறது. இந்த நிலைமையின் நடைமுறைப்பயனாக ஒரு தொடர்வண்டி நிலையத்தில் நின்றிருக்கும் தொடர் வண்டியை கருதுக. வண்டித்தொடரின் ஒவ்வொரு வண்டியும் அடுத்ததுடன் இணைந்திருக்கிறது. ஒரு நுனியில் பொறி இணைக்கப்படும்போது அது அதற்கடுத்த வண்டிக்கு ஒரு தள்ளலை வழங்குகிறது. இந்த தள்ளல் ஒரு வண்டியிலிருந்து அடுத்ததற்காக அனுப்பப்படுகிறது. தொடர் வண்டி முழுவதுமாக இடம்பெயராமல் இது நடைபெறுகிறது.

இப்போது வளியில் ஒலியலைகள் பரவுநடப்பதை கருதுவோம். ஒலியலைகள் வளியின்வழி பரவுநடக்கும்போது வளியின் ஒரு சிறு பகுதிக்கு அழுக்கத்தையோ விரிவாக்கத்தையோ வழங்குகிறது. இது அந்த பகுதியிலுள்ள வளியின் அடர்வை சற்று ($\delta\rho$ என்க) மாற்றுகிறது. இந்த மாற்றம் அந்த பகுதியின் அழுத்தத்தை மாற்றுகிறது (δp). அழுத்தம் ஒரு அலகு பரப்பளவிலுள்ள விசை. இதனால் விற்குருளில் போலவே கலக்கத்தின் விழுக்காட்டில் ஒரு மீளமைவிசை எழுகிறது. இங்கு விற்குருளின்

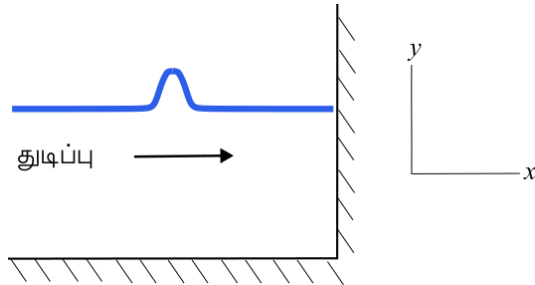
நீட்சிக்கும் குறுக்கத்துக்கும் நிகரானது அடர்வுமாற்றம். ஒரு வட்டாரம் அமுக்க மடைந்தால் அதிலுள்ள மூலக்கூறுகள் நெருக்க மடைவதால் அண்டைய வட்டாரங்களுக்கு செல்கின்றன. இதனால் அண்டைய வட்டாரங்களில் அடர்வு மிகுந்து அமுக்கம் நிகழ்கிறது. இதன்விளைவாக, முதல் வட்டாரத்திலுள்ள வளி அடர்குறைகிறது. ஒரு வட்டாரம் அண்டைய வட்டாரங்களின் ஒப்பளவில் அடர்குறைந்தால் அதை நிரப்ப அண்டை வட்டாரங்களிலிருந்து வளி பாய்கிறது. இவ்வாறு, அமுக்கமோ அடர்குறைவோ ஒரு வட்டாரத்திலிருந்து மற்றவற்றுக்கு அசைகிறது. இவ்வாறு கலக்கம் வளியில் பரவுநடக்கிறது.

திண்மப்பொருள்களிலும் இதே விவாதங்களை சொல்லலாம். ஒரு திண்மப்படிக்கத்தில் அணுக்கள் சீரொழுங்கான அணிக்கட்டில் அடுக்கப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு அணுவும் (அணுத்தொகுப்பும்) அண்டைய அணுக்களிலிருந்து (அணுத்தொகுப்புகளிலிருந்து) வரும் விசைகளால் சமநிலையில் உள்ளது. மற்ற அணுக்களை நிலையாக வைத்து ஒரு அணுவை மட்டும் இடம்பெயர்த்தால் விற்சுருளில் நிகழ்ந்ததுபோல் ஒரு மீளமைவிசை உண்டாகிறது. இவ்வாறு அணிக்கட்டிலுள்ள அணுக்களை புள்ளிகளாகவும் ஒவ்வொரு சோடிப்புள்ளிகளிடையும் ஒரு விற்சுருள் இருப்பதாகவும் கருதலாம்

15.2 நெடுக்கலைகளும் குறுக்கலைகளும்

அலைகள் ஊடகத்தில் அலைவுகளை ஏற்படுத்துவதை ஏற்கெனவே படித்திருக்கிறோம். இத்தகைய அலைவுகள் அலையின் பரவுநடைக்கு செங்குத்தாக இருந்தால் அவற்றை நாம் குறுக்கலைகள் என அழைக்கிறோம். அலைவுகள் அலையின் பரவுநடையின் திசையிலே இருந்தால் அவற்றை நெடுக்கலைகள் என அழைக்கிறோம்.

படம் 15.2 ஒரு சரத்தில் ஒரு ஒற்றைத்துடிப்பு பரவுநடப்பதை காட்டுகிறது. இந்த துடிப்பு மேலுங்கீழுமான ஒரு ஏற்றலால் ஏற்பட்டது.

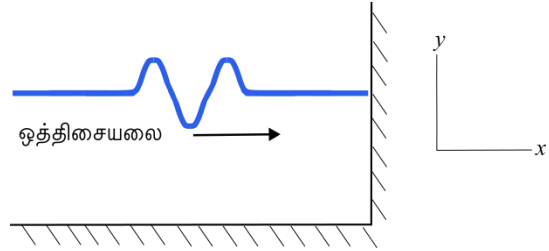


படம் 15.2 ஒரு துடிப்பு x திசையில் நீட்டிய ஒரு சரத்தில் பயணிக்கும்போது சரத்தின் கூறுகள்

y என்று குறித்த திசையில் மேலுங்கீழுமாக அலைவுறுகின்றன

துடிப்பளவின் ஒப்பீட்டில் சரத்தின் நீளம் மிகவும் அதிகமாக இருந்தால், துடிப்பு சரத்தின் மறுநுனியை அடைவதற்குள் அடங்கி விடுகிறது. அதனால் அந்த நுனியில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பை கருதவேண்டிய தில்லை.

இதைப்போன்ற மற்றொரு சூழ்நிலையை படம் 15.3 காட்டுகிறது. ஆனால் இங்கு புறமுகவம் மேலுங்கீழுமான வளைவடிவ அசைவை சரத்தின் ஒரு நுனிக்கு தொடர்ச்சியாக வழங்குகிறது. இதனால் சரத்தில் விளையும் கலக்கம் ஒரு வளைவடிவ அலை. இரண்டு வேற்றுவங்களிலும் சரத்தின் பகுதிகளின் வழியே துடிப்போ வளைவடிவ அலையோ கடக்கும்போது அந்த பகுதிகள் தம் சமநிலையான இடைம இடநிலைகளைப்பற்றி அலைவுறுகின்றன. இந்த அலைவுகள் சரத்தில் அலை செல்லும் திசைக்கு செங்குத்தானவை. எனவே இது குறுக்கலையின் ஒரு சான்று.



படம் 15.3 நீட்டிய ஒரு சரத்தில் பயணிக்கும் ஒரு ஒத்திசையலை குறுக்கலைக்கு ஒரு சான்று அலையின் வட்டாரத்திலுள்ள சரத்தின் ஒரு கூறு தன் சமநிலையான இடநிலையைப்பற்றி அலையின் பரவுநடைக்கு செங்குத்தான திசையில் அலைவுறுகிறது.

அலைகளை நாம் இருவகையில் காணலாம். ஒரு வழி நேரத்தை நிலையாக வைப்பது; அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அலையின் சித்திரத்தை கருதுவது. இது நமக்கு அலையின் ஒட்டுமொத்த வடிவத்தையும் தெரிவிக்கும். மற்றொரு வழி இருப்பிடத்தை நிலையாக வைப்பது; அதாவது சரத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதியில் கவனஞ்செலுத்தி அது நேரத்துடன் அலைவுறுவதை காண்பது.

படம் 15.4 நெடுக்கலையின் ஒரு சான்றாக ஒலியலைகளின் பரவுநடையை காட்டுகிறது. வளி நிரம்பிய ஒரு நீளமான குழாயின் ஒரு நுனியில் ஒரு உந்துதண்டு உள்ளது. உந்துதண்டை ஒரு முறை தள்ளிவிடுவதன்மூலம் ஊடகத்தில் (வளியில்) ஒரு ஒருக்கமும் அடர்வுமிகுதியும் அடர்வுகுறைவுமான ஒரு துடிப்பை ஏற்படுத்துகிறது. இழுத்துவிடுவது சீரொழுங்காக (வளைவடிவமாக) தொடர்ந்தால் ஒரு வளைவடிவ அலை குழாயின் நீளத்தில் பரவு

நடக்கிறது. இது நெடுக்கலைக்கு ஒரு சான்றாவது தெளிவு.



படம் 15.4 வளிநிறைந்த குழாயில் ஒரு உந்துதண்டை மேலுங்கீழுமாக அசைப்பதால் உண்டாகும் நெடுக்கலைகள் (ஒலியலைகள்). வளியின் ஒரு பருமத்தனிகம் அலையின் பரவுநடையின் திசைக்கு இணையாக அலைவுறுகிறது.

இங்கு குறிப்பிடப்பட்ட நெடுக்கலைகளும் குறுக்கலைகளும் ஊடகத்தில் ஒரு பகுதியிலிருந்து இன்னொரு பகுதிக்கு செல்கின்றன. ஆனால் ஊடகம் மொத்தமாக அசைவதில்லை. ஒரு நீரோடையில் நீர் பாய்கிறது. ஆனால் நீரலையில் கலக்கம் மட்டுமே அசைகிறதேயன்றி நீர் பாய்வதில்லை. இதைப் போலவே காற்று என்பது வளியின் ஓட்டம்; ஆனால் வளியில் ஒலிலைகளின் பரவுநடையின்போது வளி மொத்தமாக அசையாமல் அதன் அடர்வில் (அழுத்தத்தில்) ஏற்படும் கலக்கமே அசைகிறது.

குறுக்கலைகளில் துகளின் அசைவு அலை பரவுநடக்கும் திசைக்கு செங்குத்தானது. எனவே, அலை பரவுநடக்கும்போது ஊடகத்தின் ஒவ்வொரு பகுதியும் ஒரு கத்தரித்திரிபுக்கு உள்ளாகிறது. இதனால், கத்தரித்திரிபை ஏற்கும் ஊடகங்களில் மட்டுமே குறுக்கலைகள் பரவுநடக்க இயலும். அதாவது திண்மங்களில் குறுக்கலைகள் இருக்கலாம்; பாய்மங்களில் இருக்கவியலாது. திண்மங்களும் பாய்மங்களும் அமுக்கத்திரிபை ஏற்கலாம் என்பதால் நெடுக்கலைகள் எல்லா மீண்மலூகங் களிலும் பரவுநடக்கலாம். சான்றாக, எஃகு போன்ற ஊடகங்களில் குறுக்கலைகளும் நெடுக்கலைகளும் பரவுநடக்கலாம்; ஆனால் வளியில் நெடுக்கலைகள் மட்டுமே பரவுநடக்கலாம். நீரின் பரப்பிலுள்ள அலைகள் நுண்குழலலைகள், நிறையீர்ப்பலைகள் ஆகிய இருவிதமானவை. நுண்குழலலைகள் குறைந்த அலைநீளமுள்ள சிற்றலைகள்; ஒரு சில செண்டிமீட்டர் அலைநீளமுள்ளவை. இவற்றை உண்டாக்கும் மீளமைவிசைகள் நீரின் பரப்பிழுவிசை.

நிறையீர்ப்பலைகளின் அலைநீளங்கள் பல மீட்டரி லிருந்து பலநூறு மீட்டர்வரையான அலைநீளங்க ளுள்ளவை. இந்த அலைகளை உண்டாக்கும் மீளமைவிசைகள் நீரின் பரப்பை மீத்தாழ்ந்த மட்டத்தில் வைத்திருக்கும் போக்குள்ள புவிவீர்ப்பு விசை. இந்த அலைகளால் துகள்களில் ஏற்படும் அலைவுகள் அதன் பரப்பில் மட்டும் இல்லாமல், அவற்றின் அடிவரை குறையும் வீச்சகலத்துடன் நீள்கிறது. நீரலைகளில் துகள்களின் அசைவு சற்று சிக்கலானது. அவை முன்னும்பின்னும் மட்டுமல்லாது மேலுங்கீழும் அசைகின்றன. கடலில் ஏற்படும் அலைகளில் குறுக்கலைகளும் நெடுக்கலைகளும் உள்ளன.

பொதுவாக குறுக்கலைகளும் நெடுக்கலைகளும் ஒரே ஊடகத்தில் வெவ்வேறு வேகத்தில் பயணிப்பதை காண்கிறோம்.

சிக்கல் 15.1

அலையசைவின் சில சான்றுகளை கீழே தருகிறோம். ஒவ்வொன்றிலும் அலையசைவு குறுக்கசைவா நெடுக்கசைவா இரண்டும் சேர்ந்ததா என்று உரைக்க.

(அ) ஒரு நெடுக்குவாட்டு விற்குளில் அதன் ஒரு நுனியை பக்கவாட்டில் இடம்பெயர்ப்பதால் உண்டாகும் அசைவு

(ஆ) நீர்மமடங்கிய ஒரு உருளையில் ஒரு உந்துதண்டை முன்னும்பின்னும் அசைப்பதால் உண்டாகும் அலைகள்

(இ) நீரில் மிதந்தோடும் ஒரு உந்துபடகு உண்டாக்கும் அலைகள்

(ஈ) அதிரும் கற்படிகம் வளியில் உண்டாக்கும் புறவொலியலைகள்

தீர்வு

(அ) குறுக்கும் நெடுக்கும்

(ஆ) நெடுக்கு

(இ) குறுக்கும் நெடுக்கும்

(ஈ) நெடுக்கு

15.3 பயணலையில்

இடப்பெயர்ச்சியுறவுகள்

பயணிக்கும் அலையை கணிதவழி விளக்க இடநிலை (x), காலம் (t) ஆகிய இரண்டின் சார்பன் தேவைப்படுகிறது. இவ்வாறான சார்பன் ஒவ்வொரு நேரத்திலும் அலையின் வடிவத்தை தரவேண்டும். மேலும் ஒவ்வொரு இடத்திலும் ஊடகத்தின் உள்ளடங்கியின் அசைவை விவரிக்கவேண்டும். படம் 15.3இல் காட்டிய பயணிக்கும் வளைவடிவ அலையை விவரிக்க விரும்பினால், நிகரான சார்பனும் வளைவடிவத்தில் இருக்கவேண்டும். வசதிக்காக, அலையை நெடுக்கலையாக எடுப்போம். அப்படி யெனில், ஊடகத்தின் உள்ளடங்கியில் இடநிலையை x என்று குறித்தால் சமநிலையிலிருந்து அதன்

விலகலை y என்று குறிக்கலாம். ஒரு வளைவடிவ அலையை

$$y(x, t) = a \text{ வலி}(kx - \omega t + \phi) \quad (15.2)$$

என்று குறிக்கலாம்; இங்கு ϕ இருப்பது உண்மையில் நாம் வளைவிச்சார்பனும் உடன் வளைவிச்சார்பனும் சேர்ந்த ஒரு நேரியச் சேர்வை பயன்படுத்துவதை உள்ளரைக்கிறது.

$$y(x, t) = A \text{ வலி}(kx - \omega t) + B \text{ உவலி}(kx - \omega t) \quad (15.3)$$

(15.2), (15.3) ஆகிய சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$a = \sqrt{A^2 + B^2}, \quad \phi = \text{தொவி}^{-1} \left(\frac{B}{A} \right)$$

(15.2) ஆம் சமன்பாடு வளைவடிவில் இருப்பதை புரிந்துகொள்ள $t = t_0$ என்ற ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தை கருதுக. அப்போது இந்த சமன்பாட்டிலுள்ள வளைவிச்சார்பனின் செயலுருபு $kx + \text{மாறிலி}$ என்றாகிறது. அதாவது, அலையின் வடிவம் x இல் ஒரு வளைவியலை. இதைப்போல், $x = x_0$ என்ற ஒரு நிலையான இடத்தை எடுத்துக்கொள்ளுங்கள். இப்போது வளைவிச்சார்பனின் செயலுருபு $\text{மாறிலி} - \omega t$ என்றாகிறது. ஒரு நிலையான இடத்தில் இடப்பெயர்ச்சியான y வளைவடிவத்தில் மாறுகிறது அதாவது, ஊடகத்தின் வெவ்வேறு இடநிலைகளிலுள்ள உள்ளடங்கிகள் எளிய ஒத்திசையசைவுக்கு உள்ளாகின்றன. இறுதியாக, t அதிகரிக்கும்போது, $kx - \omega t + \phi$ மாறிலியாக வைக்க x நேர்மத்திசையில் அதிகரிக்கவேண்டும். எனவே, (15.2)ஆம் சமன்பாடு x அச்சின் நேர்மத்திசையில் பயணிக்கும் ஒரு வளைவடிவ அலையை குறிக்கிறது. இதன் மறுபக்கமாக

$$y(x, t) = a \text{ வலி}(kx + \omega t + \phi) \quad (15.4)$$

என்ற சமன்பாடு x அச்சின் எதிர்மத்திசையில் பயணிக்கும் அலையை குறிக்கிறது.

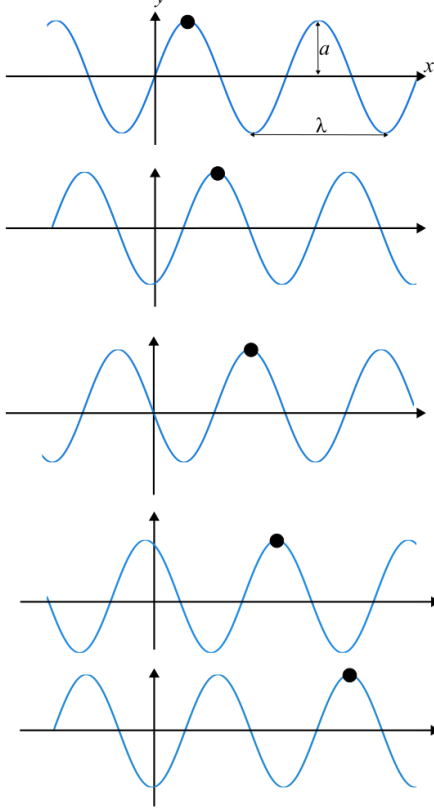
$y(x, t)$	இடநிலை (x), நேரம் (t) ஆகியவற்றின் சார்பனாக இடப்பெயர்ச்சி
a	ஒரு அலையின் வீச்சகலம்
ω	அலையின் கோண அலைவெண்
k	அலையின் கோண அலையெண்
$kx - \omega t + \phi$	தொடக்கத்தில் கட்டக்கோணம் ($a + x = 0, t = 0$)

படம் 15.5 (15.2)ஆம் சமன்பாட்டிலுள்ள பல்வேறு இயலளவுகளின் பெயர்களை தருகிறது. இவற்றை இப்போது பொருளுணர்வோம்.

படம் 15.6 (15.2)ஆம் சமன்பாட்டின் வரைகோடு களை சம இடைவெளிகளிலுள்ள வெவ்வேறு நேரங்களில் காட்டுகிறது ஒரு அலையில் மீப்பெரும் நேர்ம இடப்பெயர்ச்சியுள்ள புள்ளியை முகடு என்றும் மீப்பெரும் எதிர்ம இடப்பெயர்ச்சியுள்ள புள்ளியை அகடு என்றும் அழைக்கிறோம். அலை பயணிக்கும் விதத்தை காண ஒரு முகட்டில் கவனஞ்செலுத்தி அது நேரத்துடன் எவ்வாறு முன்னேறுகிறது எனக்காணலாம். படத்தில் இந்த முகட்டை x என்று குறித்தோம். இதே வழியில் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலுள்ள ஊடகத்தின் உள்ளடங்கி அசைவதை காணலாம். சான்றாக, x அச்சின் மூலத்திலுள்ள பொருண்மம் அசைவதை ஒரு திண்மப்புள்ளியால் காட்டுகிறோம். படம் 15.6இலுள்ள வரைகோடுகள் நேரத்துடன் மூலத்திலுள்ள திண்மப்புள்ளி சீரொழுங்குடன் அசைவதை காட்டுகின்றன. அதாவது அலை முன்செல்லும்போது மூலத்திலுள்ள துகள் அதன் இடைம இடநிலையைப்பற்றி அலைவுறுகிறது. இது வேறெந்த இடநிலைக்கும் பொருந்துகிறது. திண்மப்புள்ளி ஒரு முழு அலைவை நிறைவுசெய்கிற அதே நேரத்தில் முகடு ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவை கடந்திருப்பதை காண்கிறோம்.

$y(x, t)$	இடநிலை (x), நேரம் (t) ஆகியவற்றின் சார்பனாக இடப்பெயர்ச்சி
a	ஒரு அலையின் வீச்சகலம்
ω	அலையின் கோண அலைவெண்
k	அலையின் கோண அலையெண்
$kx - \omega t + \phi$	தொடக்கத்தில் கட்டக்கோணம் ($a + x = 0, t = 0$)

படம் 15.5 (15.2)ஆம் சமன்பாட்டிலுள்ள வழக்கமான அடையாளங்களின் பொருள்



படம் 15.6 x அச்சின் நேர்மத்திசையில் முன்னேறும் ஒரு ஒத்திசையலை வெவ்வேறு நேரங்களில்

படம் 15.6 இன் வரைகோடுகளை பயன்படுத்தி (15.2) ஆம் சமன்பாட்டின் பல்வேறு அளவுகளை வரையறுக்கலாம்

15.3.1 வீச்சகலமும் கட்டமும்

(15.2) ஆம் சமன்பாட்டில் வளைவிகிதச் சார்பன் 1க்கும் -1 க்குமிடையில் மாறுவதால் இடப்பெயர்ச்சியான $y(x,t)$ a க்கும் $-a$ க்கு மிடையில் மாறுகிறது. பொதுவமிழப்பின்றி a யை ஒரு நேர்ம மாறிலியாக எடுத்துக்கொள்ளலாம். அப்படியெனில் a ஊடகத்தின் உள்ளடங்கிகளின் சமநிலையிலிருந்து மீப்பெரும் இடப்பெயர்ச்சியை குறிக்கிறது. இடப்பெயர்ச்சி (y) நேர்மமாகவோ எதிர்மமாகவோ இருக்கலாம் எனினும் a நேர்மம் என்பதை நோக்குக. இதை அலையின் **வீச்சகலம்** என்கிறோம்.

வளைவிகிதச்சார்பனின் செயலுருபான $kx - \omega t + \phi$ என்ற அளவை அலையின் **கட்டம்** என்கிறோம். கொடுக்கப்பட்ட வீச்சகலத்துக்கு கட்டம் எந்த இடநிலையிலும் எந்த நேரத்திலும் அலையின் இடப்பெயர்ச்சியை தீர்மானிக்கிறது. $x = 0, t = 0$ என்றபோது கட்டம் ϕ என்பது தெளிவு. எனவே ϕ யை தொடக்கக்கட்டக் கோணம் என்கிறோம். x அச்சின் மூலத்தையும் தொடக்கநேரத்தையும் பொருத்தமாக தேர்ந்தெடுப்பதன்மூலம் $\phi = 0$ என்று ஆக்கலாம். எனவே $\phi = 0$ என்று எடுப்பதால் (15.2) ஆம் சமன்பாட்டில் பொதுவமிழப்பு ஏற்படவில்லை.

15.3.2 அலைநீளமும் கோண அலையெண்ணும்

ஒரே கட்டத்திலுள்ள இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையான மீக்குறைந்த தொலைவை அலையின் அலைநீளம் என்கிறோம், இதை பொதுவாக λ வால் குறிக்கிறோம். எளிமைக்காக, இந்த புள்ளிகளை முகடுகளாகவோ அகடுகளாகவோ தேர்கிறோம். அலைநீளம் ஒரு அலையில் இரண்டு அடுத்தடுத்த முகடுகளுக்கோ அகடுகளுக்கோ இடையிலான தொலைவு. (15.2) ஆம் சமன்பாட்டில் $\phi = 0$ என்று எடுக்கும்போது $t = 0$ இல் இடப்பெயர்ச்சி

$$y(x,0) = a \sin kx \quad (15.5)$$

என்றாகிறது. ஒவ்வொரு 2π கோண மாற்றத்திற்குப் பிறகும் வளைவிகிதச்சார்பன் அதன் மதிப்பை மீண்டும் பெறுகிறது.

$$\text{வவி } kx = \text{வவி}(kx + 2n\pi) = \text{வவி } k \left(x + \frac{2n\pi}{k} \right)$$

அதாவது, x இலும்

$$x + \frac{2n\pi}{k}$$

என்ற புள்ளிகளிலும் அதே இடப்பெயர்ச்சிகள் உள்ளன; இங்கு, $n = 1, 2, 3 \dots$ ஆகிய இயலெண்கள். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரே இடப்பெயர்ச்சியுள்ள புள்ளிகளுக்கிடையான மீக்குறைந்த தொலைவை $n = 1$ ஆல் பெறுகிறோம். அப்படியெனில் λ வை கீழ்க்கண்டவாறு பெறுகிறோம்.

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}; \quad \text{அதாவது, } k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (15.6)$$

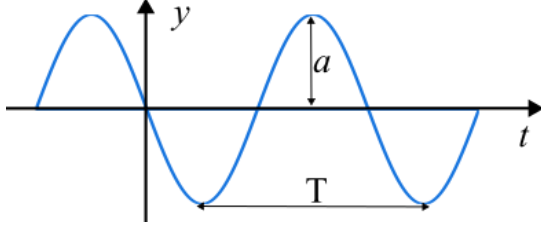
k யை கோண அலையெண் என்றும் பரவுநடை மாறிலி என்றும் அழைக்கிறோம். அதன் அவ அலகு ஒரு மீட்டருக்கு ஆரையன்; அதாவது $\text{rad } m^{-1}$.¹

¹ இங்கு ஆரையனை விட்டுவிட்டு அலகை m^{-1} என்று எழுதலாம். இந்த அலகில், k ஓரலகு நீளத்திலுள்ள அலைகளின் எண்ணிக்கையை (கட்டவேறுபாடுகளின் எண்ணிக்கையை) 2π ஆல் பெருக்கியதை குறிக்கிறது.

15.3.3 சீரொழுங்கு, கோண அலைவெண், அலைவெண்

படம் 15.7 ஒரு வளைவடிவ வரைகோட்டை மீண்டும் காட்டுகிறது. இது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அலையின் வடிவத்தை விவரிக்காமல், ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலுள்ள துகளின் இடப்பெயர்ச் சியை நேரத்தின் சார்பனாக காட்டுகிறது. எளிமைக்காக நாம் (15.2)ஆம் சமன்பாட்டை $\phi = 0$ இல் எடுத்து, $x = 0$ போன்ற ஒரிடத்தில் துகள்களின் அசைவை கண்காணிக்கலாம். அப்போது நாம் பெறுவது

$$y(0, t) = a \text{ வலி}(-\omega t) = -a \text{ வலி} \omega t$$



படம் 15.7 ஒரு சரத்தின்மீது அலை செல்லும்போது நிலையான இடத்திலுள்ள ஒரு சரத்தனிகம் நேரஞ்செல்லும்போது a என்ற வீச்சுகலத்துடனும் T என்ற அலைவுநேரத்துடனும் அலைவுறுகிறது.

ஒரு துகள் ஒரு முழு அலைவை முடிக்க ஆகும் நேரத்தை அலையின் அலைவுநேரம் (T) என்று சொல்கிறோம். அதாவது

$$\begin{aligned} -a \text{ வலி} \omega t &= -a \text{ வலி} \omega(t + T) \\ &= -a \text{ வலி}(\omega t + \omega T) \end{aligned}$$

ஒவ்வொரு 2π க்குப்பிறகும் வளைவிகிதச் சார்பன் மீள்வருவதால்

$$\omega T = 2\pi; \quad \text{அதாவது} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (15.7)$$

ω வை அலையின் கோண அலைவெண் என்று அழைக்கிறோம். இதன் அவ அலகு rad s^{-1} . அலைவெண் (ν) என்பது ஒரு வினாடிக்கு அலைவுகளின் எண்ணிக்கை. எனவே,

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (15.8)$$

என்றாகிறது. ν வை எரிசில் அளவிடுவது வழக்கம்.

மேலுள்ள உரையில், ஒரு சரத்தில் பயணிக்கும் குறுக்கலையைப்பற்றியே பேசினோம். ஒரு நெடுக்கலையில், ஊடகத்தின் தனிகத்தின் இடப்பெயர்ச்சி அலையின் பரவுநடைத்திசைக்கு இணையானது. (15.2)ஆம் சமன்பாட்டில் ஒரு நெடுக்கலையின் இடப்பெயர்ச்சிச்சார்பனை

$$s(x, t) = a \text{ வலி}(kx - \omega t + \phi) \quad (15.9)$$

என்று எழுதுகிறோம். இதில் $s(x, t)$ என்பது x என்ற இடநிலையிலும் t என்ற நேரத்திலும் அலை

பரவுநடைக்கும் திசையில் ஊடகத்தனிகத்தின் இடப்பெயர்ச்சியை தருகிறது. (15.9)ஆம் சமன்பாட்டில் a இடப்பெயர்ச்சியின் வீச்சகலம். மற்ற அளவுகள் குறுக்கலையிலுள்ளதுபோலவே பொருளுள்ளவை. ஆனால் இங்கு $y(x, t)$ என்ற இடப்பெயர்ச்சிச்சார்பனுக்குப்பதிலாக $s(x, t)$ இடம்பெறுகிறது.

சிக்கல் 15.2

ஒரு சரத்தில் பயணிக்கும் அலையை

$$y(x, t) = 0.005 \text{ வலி}(80.0x - 3.0t),$$

விவரிக்கிறது. இதில் எண்மாறிலிகள் அவ அலகுகளில் உள்ளன (0.005 m , 80.0 rad m^{-1} , 3.0 rad s^{-1}). (அ) வீச்சகலம், (ஆ) அலைநீளம் (இ) அலைவுநேரம், அலைவெண் ஆகியவற்றை கணக்கிடுக. மேலும், $x = 30.0 \text{ cm}$ தொலைவிலும் $t = 20 \text{ s}$ நேரத்திலும் அலையின் இடப்பெயர்ச்சியை கணக்கிடுக

தீர்வு

இந்த இடப்பெயர்ச்சிச்சமன்பாட்டை

$$y(x, t) = a \text{ வலி}(kx - \omega t)$$

என்ற (15.2)ஆம் சமன்பாட்டுடன் ஒப்பிட்டு கீழ்க்கண்டவாறு காண்கிறோம்.

(அ) அலையின் வீச்சகலம்: $a = 0.005 \text{ மீ} = 5 \text{ மிமீ}$.

(ஆ) கோண அலையெண்ணும் கோண அலைவெண்ணும் முறையே

$$k = 80.0 \text{ m}^{-1}, \quad \omega = 3.0 \text{ s}^{-1}$$

அலைநீளமான λ வை k யுடன் (15.6)ஆம் சமன்பாட்டால் உறவாக்குகிறோம்.

(இ) T க்கும் ω வுக்குமுள்ள உறவு

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{3.0 \text{ s}^{-1}} = 2.09 \text{ s}$$

அலைவெண்ணான $\nu = 1/T = 0.48 \text{ Hz}$

$x = 30.0 \text{ cm}$ இலும்

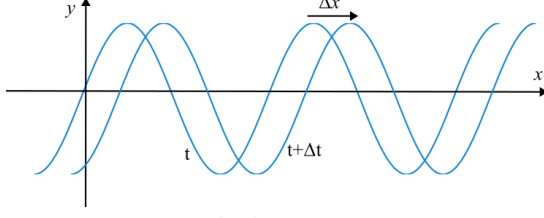
$t = 20 \text{ s}$ இலும்

இடப்பெயர்ச்சி

$$\begin{aligned} y &= 0.005 \text{ m} \times \text{வலி}(80.0 \times 0.3 - 3.0 \times 20) \\ &= 0.005 \text{ m} \times \text{வலி}(-36 \text{ rad}) \\ &= 0.005 \text{ m} \times \text{வலி}(-36 + 12\pi) \\ &= 0.005 \text{ m} \times \text{வலி} 1.699 \\ &= 0.005 \text{ m} \times \text{வலி} 97^\circ \\ &= 5 \text{ mm} \end{aligned}$$

15.4 பயணலையின் வேகம்

ஒரு அசையும் அலை பரவுநடைக்கும் வேகத்தை தீர்மானிக்க, அலையின் (கட்டத்தால் குறிக்கப்படும்) எந்த குறிப்பிட்ட புள்ளியிலும் நம் கவனத்தை செலுத்தி அந்தப்புள்ளி நேரத்துடன் எவ்வாறு அசைகிறது என்று காணலாம். அலையின் முகடுகளின் அசைவை பார்ப்பது வசதியானது.



படம் 15.8 t நேரத்திலிருந்து $t + \Delta t$ நேரம்வரை ஒரு ஒத்திசைவலையின் முன்னேற்றம். இதில் Δt என்பது ஒரு சிறிய இடைவெளி. அலை வடிவம் ஒட்டுமொத்தமாக வலது பக்கம் மாறுகிறது. அலையின் முகடு (அல்லது ஏதேனும் நிலையான கட்டத்துடன் கூடிய புள்ளி) Δt நேரத்தில் Δx தொல்வுக்கு வலப்புறமாக நகர்கிறது.

படம் 15.8 அலையின் வடிவத்தை Δt என்ற ஒரு சிறு இடைவெளியால் வேறுபடும் இரண்டு நேரங்களில் தருகிறது. முழு அலைவடிவமும் Δx தொலைவுக்கு வலப்பக்கம் (x அச்சின் நேர்மத்திசையில்) நகர்வதை காணலாம். குறிப்பாக, ஒரு புள்ளியால் காட்டப்படும் முகடு (*) Δx தொலைவை Δt நேரத்தில் கடக்கிறது.

அப்படியெனில், அலையின் வேகம் $\Delta x / \Delta t$. வேறு எந்த கட்டத்திலும் புள்ளியை (*) வைக்கலாம். அது அதே v என்ற வேகத்தில் நகரும். (இல்லையெனில் அலையின் வடிவம் மாறிவிடும்). அலையின் ஒரு குறிப்பிட்ட கட்டப்புள்ளியின் அசைவை

$$kx - \omega t = \text{மாறிலி} \quad (15.10)$$

தருகிறது. இவ்வாறு, நேரம் (t) மாறும்போது, கட்டம் மாறாதவகையில் கட்டப்புள்ளியின் இடநிலை (x) மாறவேண்டும். இதனால்,

$$kx - \omega t = k(x + \Delta x) - \omega(t + \Delta t);$$

$$\text{அதாவது } k \Delta x - \omega \Delta t = 0$$

Δx ஐயும் Δt யையும் சுழியெல்லைக்கு கொண்டு போகும்போது

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = v \quad (15.11)$$

என்பதை பெறுகிறோம். ω வை T யுடனும் k வை λ வுடனும் தொடர்புறுத்தி

$$v = \frac{2\pi v}{2\pi/\lambda} = \lambda v = \frac{\lambda}{T} \quad (15.12)$$

என்று பெறுகிறோம்.

எல்லா பயணலைகளுக்கும் பொதுவான (15.12) ஆம் சமன்பாடு ஊடகத்தின் எந்த ஒரு தனிகத்தின் ஒரு முழு அலைவுக்கு தேவைப்படும் நேரத்தில் அலை அலைநீளத்துக்கு சமமான தொலைவு பயணிக்கிறது என்பதை காட்டுகிறது. ஒரு எந்திரவிய அலையின் வேகத்தை ஊடகத்தின் அகப்பண்புகளும் (சரங்களின் நேரிய நிறையடர்வு, பொதுவாக நிறையடர்வு) மீண்மப்பண்புகளும் (யாங்கின் குணகம்,

கத்தரிக்குணகம், பருமக்குணகம்) தீர்மானிப்பதை நினைவுகொள்க. ஊடகம் வேகத்தை தீர்மானிக்கிறது; அப்படியெனில், (15.12) ஆம் சமன்பாடு குறிப்பிட்ட வேகத்துக்கு அலைநீளத்தையும் அலைவெண்ணையும் தொடர்புறுத்துகிறது. ஊடகம் குறுக்கலைகளையும் நெடுக்கலைகளையும் தாங்கவியலும் என்பதை அறிவோம். அவற்றுக்கு ஒரே ஊடகத்தில் வெவ்வேறு வேகங்கள் இருக்கலாம். இந்த படலத்தின் பிற்பகுதியில் சில ஊடகங்களில் எந்திரவிய அலைகளின் வேகத்துக்கான குறிப்புமையான கோவைகளை பெறுவோம்.

15.4.1 நீட்டப்பட்ட சரத்தில் ஒரு குறுக்கலையின் வேகம்

ஒரு எந்திரவிய அலையின் வேகத்தை ஊடகத்தில் கலக்கம் ஏற்படும்போது உண்டாகும் மீளமைவிசையும் ஊடகத்தின் மாறாமைப்பண்புகளும் (நிறையடர்வு) தீர்மானிக்கின்றன. வேகம் முந்தையவற்றுடன் நேர்விழுக்காட்டிலும் பிந்தையதற்கு புரட்டுவிழுக்காட்டிலும் இருப்பதை எதிர்பார்க்கலாம். ஒரு சரத்தின் அலைகளுக்கு சரத்திலுள்ள விறைப்பு (T) மீளமைவிசையை வழங்குகிறது. இங்கு மாறாமைப்பண்பு நேரிய நிறையடர்வான μ . இது சரத்தின் நிறையை (m ஐ) அதன் நீளத்தால் (L ஆல்) வகுத்தது. நியூட்டனின் அசைவுவிதிகளை பயன்படுத்தி சரத்தில் அலையின் வேகத்துக்கான முழுச்சரியான வாய்ப்பாட்டை வருவிக்கலாம். ஆனால் அந்த வருவிப்பு இந்த நூலின் நோக்கவீச்சுக்கு அப்பாற்பட்டது. எனவே, பருமானப்பகுப்பாய்வை பயன்படுத்துவோம். பருமானப்பகுப்பாய்வு மட்டுமே முழுச்சரியான வாய்ப்பாட்டை கொடுக்கவியலாது என்பதை நாம் ஏற்கெனவே அறிவோம். பருமானப்பகுப்பாய்வால் தீர்மானிக்கவியலாத ஒரு பருமானமற்ற மாறிலி எப்போதும் எஞ்சியிருக்கும்.

μ வின் பருமானம் [ML^{-1}]; T இன் பருமானம் விசைபோன்றது; அதாவது [MLT^{-2}]. இந்த பருமானங்களை சேர்த்து v என்ற வேகத்தின் பருமானமான [LT^{-1}] பெறவேண்டும். T/μ என்ற கோவையில் இந்த பருமானம் அடங்கியிருப்பதை காண்கிறோம்.

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

இவ்வாறு, T யும் μ வும் மட்டுமே தொடர்புடைய இயலளவுகள் என்று கருதினால்,

$$v = C \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (15.13)$$

இதில் C பருமானப்பகுப்பாய்வால் தீர்மானிக்கவியலாத மாறிலி. முழுச்சரியான வாய்ப்பாட்டில், அது $C = 1$ என்றிருக்கிறது. எனவே, நீட்டப்பட்ட சரத்தில் குறுக்கலைகளின் வேகம்

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (15.14)$$

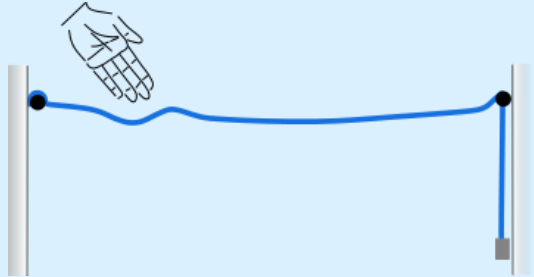
வேகம் (v) ஊடகத்தின் T , μ ஆகிய பண்புகளை மட்டுமே சார்ந்துள்ளது என்பதை நோக்குக. (நீட்டப்பட்ட சரத்தின் T என்ற பண்பு புறவிசையால் எழுவது). அது அலையின் அலைநீளம், அலைவெண் போன்ற பண்புகளை சார்ந்திருக்கவில்லை. அலைவெண்ணில் சார்புமையுள்ள சில அலைகளை மேல்வகுப்புகளில் எதிர்கொள்வீர்கள். λ , ν ஆகிய இரண்டு அளவுருக்களில், கலக்கத்தை ஏற்படுத்தும் காரணி அலையின் அலைவெண்ணை தீர்மானிக்கிறது.

ஊடகத்தில் அலையின் வேகமும் அலைவெண் ஊம் தெரிந்தால், (15.12)ஆம் சமன்பாட்டால் அலைநீளத்தை தீர்மானிக்கலாம்.

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (15.15)$$

கயிற்றில் துடிப்பு பரவுதல்

கயிற்றில் ஒரு துடிப்பு அசைவதை நீங்கள் எளிதில் காணலாம். நெளியா வரப்பில் அது எதிரொளிப்பதையும் நீங்கள் பார்க்கலாம். அது பயணிக்கும் வேகத்தையும் அளவிடலாம். 1 முதல் 3 செமீவரையான விட்டமுள்ள ஒரு கயிறு, இரண்டு கொக்கிகள், சில எடைகள் ஆகியவை தேவைப்படுகின்றன. இந்த பரிசோதனையை உங்கள் வகுப்பறையிலோ ஆய்வகத்திலோ செய்யலாம்.



1 முதல் 3 செமீவரையான விட்டமுள்ள ஒரு நீண்ட கயிற்றையோ தடிமனான சரத்தையோ எடுத்து அதை ஒரு கூடத்திலோ ஆய்வகத்திலோ எதிரெதிர் சுவர்களில் கொக்கிகளில் கட்டுக. ஒரு நுனியை ஒரு கொக்கியில் கடந்து, அதில் சிறிது எடையை (சுமார் 1 முதல் 5 கிலோ வரை) தொங்கவிடுக. சுவர்கள் 3 முதல் 5 மீவரையான இடைவெளியில் இருக்கலாம்.

ஒரு குச்சியையோ தடியையோ எடுத்து ஒரு நுனியின் அருகிலுள்ள இடத்தில் கயிற்றை

கடுமையாக தாக்குக. இது இப்போது கயிற்றில் பயணிக்கும் ஒரு துடிப்பை உருவாக்குகிறது. அது ஒரு நுனியை அடைந்து அதிலிருந்து மீண்டும் எதிரொளிப்பதை நீங்கள் பார்க்கலாம். படுதுடிப்புக்கும் எதிரொளித்த துடிப்புக்குமிடையில் கட்டத் தொடர்பை நீங்கள் சரிபார்க்கலாம். துடிப்பு மறையும்முன் இரண்டோ மூன்றோ எதிரொளிப்புகளை எளிதில் பார்க்கலாம். ஒரு நிறுத்தக்கடிகாரத்தால் சுவர்களுக்கிடையான தொலைவை துடிப்பு கடப்பதற்கான நேரத்தை கண்டறிந்து அதனால் வேகத்தை அளவிடலாம். இதை (15.14)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறுவதுடன் ஒப்பிடுக

ஒரு இசைக்கருவியின் மெல்லிய மாழைக் கம்பியிலும் இதுவே நிகழ்கிறது. முக்கிய வேறுபாடு என்னவென்றால், தடிமனான கயிற்றின் ஒப்பீட்டில் கம்பியில் நீளத்துக்கு நிறை குறைவாக இருப்பதால் வேகம் அதிகம். கயிற்றிலுள்ள குறைந்த வேகம் அசைவை நாம் பார்க்கவும் அளவீடுகளை மேற்கொள்ளவும் அழகாக உதவுகிறது.

சிக்கல் 15.3

0.72 m நீளமுள்ள எஃகுக்கம்பியின் நிறை $5.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$. கம்பி 60 N விறைப்பில் இருந்தால், கம்பியில் குறுக்கலைகளின் வேகம் என்ன?

தீர்வு

கம்பியின் நீளத்துக்கு நிறை

$$\mu = \frac{5.0 \times 10^{-3} \text{ kg}}{0.72 \text{ m}} = 6.9 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$$

விறைப்பு $T = 60 \text{ N}$

கம்பியில் அலைவின் வேகம்

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{60 \text{ N}}{6.9 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}}} = 93 \text{ m s}^{-1}$$

15.4.2 நெடுக்கலையின் வேகம் (ஒலியின் வேகம்)

ஒரு நெடுக்கலையில் ஊடகத்தின் தனிகங்கள் அலை பரவுதலுக்கும் திசையில் முன்னும் பின்னும் அலைவுறுகின்றன. வளியின் சிறு தனிகங்கள் அமுங்கி விரிவடைவாதால் ஒலியலைகள் பயணிப்பதை நாம் ஏற்கெனவே பார்த்தோம். அமுக்கத்திரிபின் தகைப்பை தீர்மானிக்கும் மீண்மப்பண்பு ஊடகத்தின் பருமக்குணகம். (படலம் 9ஐ காண்க).

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} \quad (15.16)$$

அழுத்தத்தின் மாற்றம் (ΔP) ஒரு பருமத்திரிபை (ΔV) உண்டாக்குகிறது. B க்கு அழுத்தத்தின் பருமானம் உள்ளது. இது அவ அலகுகளில் பாசுக்கல் (Pa). அலையின் பரவுதலுக்கு

தொடர்பான மாறாமைப்பண்பு நிறையடர்வு (ρ); அதன் பருமானங்கள் $[ML^{-3}]$. B/ρ என்ற கோவைக்கு தேவையான பருமானங்கள் இருப்பதை நாம் நோக்கியறிகிறோம்.

$$\frac{[ML^{-1}T^{-2}]}{[ML^{-3}]} = [L^2T^{-2}] \quad (15.17)$$

எனவே B யும் ρ வும் மட்டுமே தொடர்புடைய இயலளவுகள் என்று கருதினால்,

$$v = C \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (15.18)$$

இங்கு, முன்பு போலவே, C பருமானப்பகுப்பாய்வால் தீர்மானிக்கவியலாத ஒரு மாறிலி. முழுச்சரியான வருவிப்பு $C = 1$ என்பதை காட்டுகிறது. எனவே, ஒரு ஊடகத்தில் நெடுக்கலைகளுக்கான பொதுவான வாய்ப்பாடு

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (15.19)$$

திண்மப்பாரை போன்ற ஒரு நேரிய ஊடகத்துக்கு பக்கவாட்டு விரிவாக்கத்தை புறக்கணித்து அதன் நீளவாட்டுத்திரிபை மட்டுமே நாம் கருதலாம். இந்த வேற்றுமையில், தொடர்புடைய மீண்மக்குணகம் யாங்கின் குணகம். இதற்கும் பருமக்குணகத்தின் பருமானங்கள் உள்ளதால், இங்கும் பருமானப் பகுப்பாய்வு முன்புபோலவே (15.18)ஆம் சமன் பாட்டைப்போன்ற ஒரு உறவை தருகிறது. இங்குள்ள தீர்மானிக்கப்படாத மாறிலியான C யின் மதிப்பு ஒன்று என்பதை முழுச்சரியான வருவித்தல் காட்டுகிறது. இவ்வாறு ஒரு திண்மப்பாரையில் நெடுக்கலைகளின் வேகத்தை

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (15.20)$$

தருகிறது. இங்கு Y பாரையின் பொருண்மத்துக்கான யாங்குக்குணகம். சில ஊடகங்களில் ஒலியின் வேகத்தை அட்டவணை 15.1 தருகிறது.

ஊடகம்	வேகம் ($m s^{-1}$)
வளிமங்கள்	
வளி ($0^\circ C$)	331
வளி ($20^\circ C$)	343
ஈலியம்	965
ஐதரசன்	1284
நீர்மங்கள்	
நீர் ($0^\circ C$)	1402
நீர் ($20^\circ C$)	1482

கடலநீர்	1522
திண்மங்கள்	
அலுமினியம்	6420
செம்பு	3560
எஃகு	5941
கடுங்கரி	6000
வல்கனாக்கிய தொய்வை	54

அட்டவணை 15.1 சில ஊடகங்களில் ஒலியின் வேகம்

திண்மங்களிலும் நீர்மங்களிலும் ஒலியின் வேகம் வளிமங்களைவிட அதிகம். (திண்மங்களில் நெடுக்கலைகளின் வேகத்தை குறிக்கிறோம் என்பதை நோக்குக.) இவற்றின் யாங்கின் குணகங்கள் வளிமங்களைவிட அதிகமாயிருப்பதால், அதாவது இவற்றை அமுக்குவது கடினம் என்பதால், இது விளைகிறது. இப்போது (15.21)ஆம் சமன் பாட்டை நோக்குக. திண்மங்களுக்கும் நீர்மங்களுக்கும் அதிக நிறையடர்வு (ρ) இருக்கிறது. ஆனால், யாங்கின் குணகம் அதிகமாயிருப்பது அடர்வின் விளைவை ஈடுசெய்து மீறுகிறது. இதுவே ஒலி திண்மங்களிலும் நீர்மங்களிலும் வேகமாக பரவுவதன் காரணம்.

ஒரு வளிமத்தில் ஒலியின் வேகத்தை நல்லியல்பு வளிமத்தின் தோராயத்தில் மதிப்பிடலாம். ஒரு நல்லியல்புவளிமத்துக்கு அழுத்தம் (P), பருமன் (V), வெப்பநிலை (T) ஆகியவை

$$PV = Nk_B T \quad (15.21)$$

என்ற உறவில் இருக்கின்றன (படலம் 11ஐ காண்க.); இங்கு, k_B போட்சுமனின் மாறிலி; T ஒப்பிலா வெப்பநிலை. எனவே, ஒரு சமவெப்ப மாற்றத்துக்கு (15.21)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$V\Delta P + P\Delta V = 0; \text{ அதாவது } -\frac{\Delta P}{\Delta V/V} = P$$

என்பது கிடைக்கிறது. இதில் (15.16)ஆம் சமன்பாட்டை மாற்றிட்டு, $B = P$ என்று பெறுகிறோம். (15.21)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து, நெடுக்கலையின் வேகம்

$$v = \sqrt{\frac{P}{\rho}} \quad (15.22)$$

இந்த உறவை முதலில் நியூட்டன் வழங்கியதால், இது நியூட்டனின் உறவு எனப்படுகிறது.

சிக்கல் 15.4

செந்தர வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் வளியில் ஒலியின் வேகத்தை மதிப்பிடுக. ஒரு மோல் வளியின் நிறை $29.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$.

தீர்வு

செவ்வெவில் எந்த வளிமத்தின் ஒரு மோலும் 22.4 இலிட்டர் எடுப்பதை நாம் அறிவோம். எனவே, செவ்வெவில் வளியின் அடர்வு $\rho_0 =$ ஒரு மோல் வளியின் நிறை / ஒரு மோல் வளியின் பருமன்

$$\frac{29.0 \times 10^{-3} \text{ kg}}{22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = 1.29 \text{ kg m}^{-3}$$

ஒரு ஊடகத்தில் ஒலியின் வேகத்தைப்பற்றிய நியூட்டனின் விதிப்படி, செவ்வெவில் வளியில் ஒலியின் வேகம்

$$v = \left(\frac{1.01 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}}{1.29 \text{ kg m}^{-3}} \right)^{\frac{1}{2}} = 280 \text{ m s}^{-1} \text{ (15.23)}$$

(15.23)ஆம் சமன்பாட்டில் காட்டிய விளைவு அட்டவணை 15.1இல் காட்டிய பரிசோதனை விளைவான 331 m s^{-1} இலிருந்து சுமார் 15%ஆல் வேறுபடுகிறது. என்ன தவறு நேர்ந்தது? ஒரு ஊடகத்தில் ஒலியின் பரவுநடையின்போது ஏற்படும் அழுத்தமாறுபாடுகள் சமவெப்பமானவை என்ற நியூட்டனின் அடிப்படையான எடுகோளை உற்றுநோக்கினால் அது சரியானதன்று என்பதை நாம் காணலாம். ஒலிப்பரவலில் அழுத்தமாறுபாடுகள் விரைவாக நடைபெறுவதால் வெப்பப்பாய்வு மாறா வெப்பநிலையை தகவைக்க நேரமில்லை என்று இலாப்பிளாசு சுட்டிக்காட்டினார். எனவே இந்த மாறுபாடுகள் சமவெப்பமாக இல்லாமல் வெப்ப மாற்றாதவை. வெற்றமாற்றாத நிகழ்முறைகளுக்கு நல்லியல்புவளிமம்

$$PV^\gamma = \text{மாறிலி}$$

என்ற உறவை பின்பற்றுகிறது. அதாவது,

$$\Delta(PC^\gamma) = 0$$

$$P^\gamma V^{\gamma-1} \Delta V + V^\gamma \Delta P = 0$$

இங்கு γ இரண்டு குறிப்புமவெப்பங்களுக்கிடையான விகிதம், அதாவது C_p/C_v .

எனவே, நல்லியல்புவளிமத்தின் பருமக் குணகம்

$$B_{\text{வெமா}} = \frac{\Delta P}{\Delta V/V} = \gamma P$$

என்றாகிறது. எனவே, (15.21)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து, ஒலியின் வேகத்தை

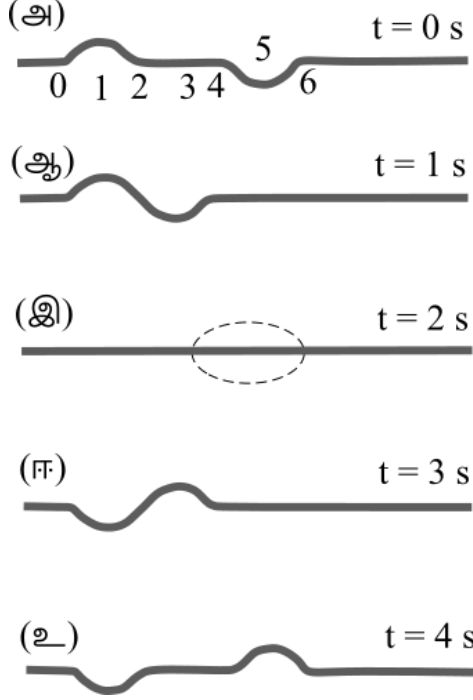
$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (15.24)$$

என்று பெறுகிறோம்.

நியூட்டன்வாய்ப்பாட்டின் இந்த திருத்தத்தை இலாப்பிளாசின் திருத்தம் என்கிறோம். வளிக்கு $\gamma = 7/5$. இப்போது, (15.24)ஆம் சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி செவ்வெவில் வளியில் ஒலியின் வேகத்தை 331.3 m s^{-1} என்று மதிப்பிடுகிறோம். இது அளந்த வேகத்துடன் ஒத்துப்போகிறது.

15.5 அலைகளின் மேலமைவுக்கொள்கை

எதிரெதிர்திசைகளில் பயணிக்கும் இரண்டு அலைத்துடிப்புகள் ஒன்றையொன்று கடக்கும்போது என்ன நிகழ்கிறது? (படம் 15.9). அவை கடந்தபின் தம் அடையாளங்களை இழக்காமல் தொடர்கின்றன என்று காண்கிறோம். ஆனால், அவை மேலமையும் நேரத்தில் அலைப்பாங்கு ஒவ்வொன்றிலுமிருந்து வேறுபடுகிறது. சமமான எதிரெதிர் வடிவமுள்ள இரண்டு துடிப்புகள் நெருங்கும்போது நிகழ்வதை படம் 15.9 காட்டுகிறது. துடிப்புகள் மேலமையும்போது விளைவும இடப்பெயர்ச்சி இரண்டு துடிப்புகளிலுமுள்ள இடப்பெயர்ச்சிகளின் இயற்கூட்டுத்தொகை. இதை அலைகளின் மேலமைவுக்கொள்கை என்கிறோம். இந்த கொள்கையின்படி, ஒவ்வொரு துடிப்பும் மற்றவை இல்லாததுபோல் அசைகிறது. எனவே, ஊடகத்தின் உள்ளடங்கிகள் இரண்டின் இடப்பெயர்ச்சிகளுக்கும் உட்படுகிறது. இந்த இடப்பெயர்ச்சிகள் நேர்மமாகவோ எதிர்மமாகவோ இருக்கலாம் என்பதால், நிகர இடப்பெயர்ச்சி அவற்றின் இயற்கூட்டுத்தொகை. படம் 15.9 வெவ்வேறு நேரங்களிலுள்ள அலைவடிவங்களின் வளைவரைகளை காட்டுகிறது. (இ) என்ற வளைவரையின் மிகை விளைவை நோக்குக. இரண்டு துடிப்புகளின் இடப்பெயர்ச்சிகளும் ஒன்றையொன்று நீக்குவதால் எல்லாவிடங்களிலும் சுழியவிடப் பெயர்ச்சி நிலவுகிறது.



படம் 15.9 சமமான எதிரெதிர் இடப்பெயர்ச்சியுள்ள இரண்டு துடிப்புகள் எதிரெதிர் திசைகளில் பயணித்தல். அவை மேலமையும்போது இரண்டின் கூட்டல் (இ)யில் காட்டியபடி சுழியமாகின்றது.

மேலமைவுக்கொள்கையை கணிதவடிவில் இட, $y_1(x, t)$, $y_2(x, t)$ ஆகியவை ஊடகத்தில் இரண்டு கலக்கங்களால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சிகள் என்க. அவைகள் ஒரு வட்டாரத்தில் ஒரே நேரத்தில் வந்துசேர்வதால் மேலமைந்தால், நிகர இடப்பெயர்ச்சியாகிய $y(x, t)$

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (15.25)$$

என்றாகிறது. இரண்டோ மேற்பட்டதோவான அவைகள் ஊடகத்தில் அசைந்தால் அவற்றின் விளைபயனான அலைவடிவம் தனித்தனி அவைகளின் சார்பன்களின் இயற்கூட்டுத் தொகை. அதாவது, அசையும் அவைகளின் அலைச்சார்பன்கள்

$$y_1 = f_1(x - vt), \quad y_2 = f_2(x - vt), \\ \dots y_n = f_n(x, t)$$

என்றிருந்தால், ஊடகத்திலுள்ள கலங்கலை விவரிக்கும் அலைச்சார்பன்

$$f = f_1(x - vt) + f_2(x - vt) + \dots + f_n(x - vt) \\ = \sum_{i=1}^n f_i(x - vt) \quad (15.26)$$

மேலமைவுக்கொள்கை குறுக்கீடு என்ற தோற்றப் பாட்டுக்கு அடிப்படையாகிறது.

எளிமைக்காக, ஒரு நீண்ட சரத்தில் பயணிக்கும் இரண்டு ஒத்திசையலைகளை

கருதுக. இவற்றுக்கு சமமான ω , k மதிப்புகள் (கோண அலைவெண்ணும் அலையெண்ணும்) இருப்பதாக கொள்வோம்; அதனால் அலைநீளங்கும் சமம்; அலைவேகங்களும் சமம். மேலும் அவற்றின் வீச்சகலங்களும் சமம் என்றும் அவை நேரிய x அச்சுக்கு நேராக பயணிப்பதாகவும் கொள்வோம். அவைகள் தொடக்கக் கட்டத்தாலே வேறுபடுகின்றன. (15.2)ஆம் சமன்பாட்டின்படி, இரண்டு அலைகளையும்

$$y_1(x, t) = a \text{ வலி}(kx - \omega t) \quad (15.27)$$

$$y_2(x, t) = a \text{ வலி}(kx - \omega t + \phi) \quad (15.28)$$

ஆகிய சமன்பாடுகள் விவரிக்கின்றன. அப்படியெனில், நிகர இடப்பெயர்ச்சியை, மேலமைவுக் கொள்கைப்படி,

$$y(x, t) = a \text{ வலி}(kx - \omega t) \\ + a \text{ வலி}(kx - \omega t + \phi) \quad (15.29)$$

என்ற சமன்பாடு தருகிறது. அதாவது

$$y(x, t) = a \left[2 \text{வலி} \left(\frac{(kx - \omega t) + (kx - \omega t + \phi)}{2} \right) \text{உவலி} \frac{\phi}{2} \right] \quad (15.30)$$

இங்கு வலி $A +$ வலி B க்கு நாம் நன்கறிந்த முக்கோணவிய முற்றொருமையை பயன்படுத்தினோம். அப்படியெனில்

$$y(x, t) = 2a \text{உவலி} \frac{\phi}{2} \text{வலி} \left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2} \right) \quad (15.31)$$

(15.31)ஆம் சமன்பாடும் அதே அலைவெண்ணும் அலையெண்ணுமுள்ள ஒரு ஒத்திசையலை நேர்ம x அச்சுக்கு நேராக பயணிப்பதை குறிக்கிறது. ஆனால், அதன் தொடக்கக்கட்டக்கோணம் $\phi/2$. இங்கு முக்கியமாக கவனிக்கவேண்டியது வீச்சகலம் இரண்டு அலைகளுக்குமிடையான கட்டக்கோண வேறுபாட்டை சார்ந்திருப்பது.

$$A(\phi) = 2a \text{உவலி} \frac{\phi}{2} \quad (15.32)$$

$\phi = 0$ என்றபோது, அதாவது இரண்டு அலைகளும் ஒரே கட்டத்திலிருக்கும்போது,

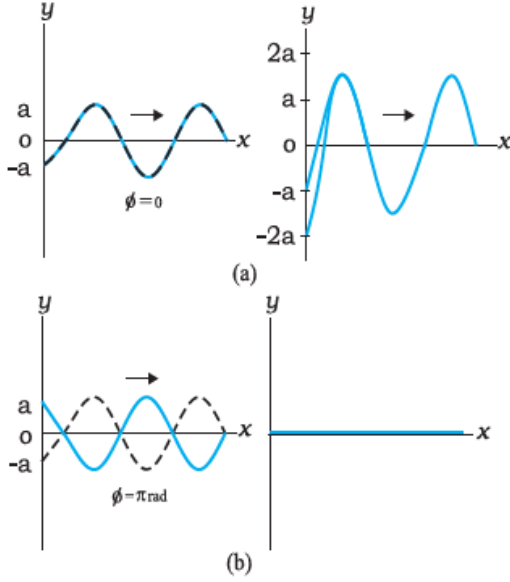
$$y(x, t) = 2a \text{வலி}(kx - \omega t) \quad (15.33)$$

என்றாகிறது. தொகுபயனான அலையின் வீச்சகலம் சாத்தியமான மீப்பெரும மதிப்பான $2a$. $\phi = \pi$ என்றபோது, அவைகள் முற்றிலும் எதிர்க்கட்டத்தில் இருக்கின்றன; விளைவும அலையின் இடப்பெயர்ச்சி எல்லாவிடத்திலும் சுழியமாகிறது.

$$y(x, t) = 0 \quad (15.34)$$

(15.33)ஆம் சமன்பாடு இரண்டு அலைகளின் கட்டுமானக்குறுக்கீட்டையும் (15.34) இடிமானக்குறுக்கீட்டையும் விவரிக்கின்றன. கட்டுமானக்

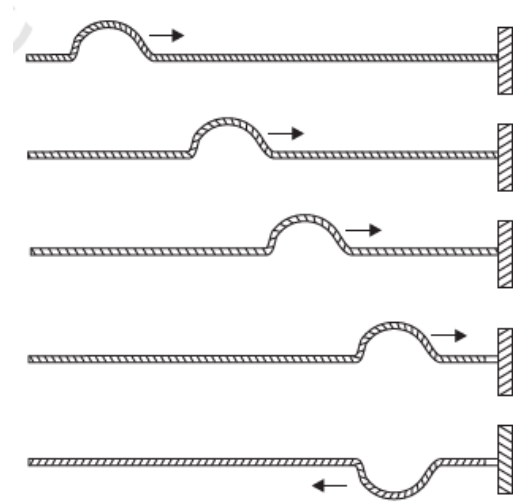
குறுக்கீட்டில் வீச்சகலங்கள் சேர்ந்து கூடுகின்றன; இடிமானக்குறுக்கீட்டில் அவை கழிந்து குறைகின்றன. இந்த இரண்டு வேற்றுவங்களிலும் மேலமைவுக் கொள்கையின் படி அலைகள் குறுக்கிடுவதை படம் 15.10 காட்டுகிறது.



படம் 15.10 மேலமைவுக்கொள்கையின்படி, சமமான வீச்சகலமும் சமமான அலைநீளமுமுள்ள இரண்டு ஒத்திசையலைகளின் விளைவுமம். விளைவு அலையின் வீச்சகலம் கட்டவேறுபடான ϕ யை சார்ந்திருக்கிறது. (அ)இல் இது சுழியம்; (ஆ)வில் π .

15.6 அலைகளின் எதிரடிப்பு

இதுவரை நாம் வரம்பிலாஜூடகங்களில் அலைகள் பரவுநடப்பதை கருதினோம். ஒரு துடிப்போ அலையோ ஒரு வரப்பை சந்திக்கும்போது என்ன நிகழ்கிறது? வரப்பு நெளியாததெனில், துடிப்போ அலையோ எதிரடிக்கிறது. எதிரொலி என்ற தோற்றப்பாடு அலைகள் நெளியாவரப்பில் எதிரடிப் பதற்கு ஒரு சான்று. வரப்பு முற்றிலும் நெளியாத தாகவோ இரண்டு மீண்மஜூடகங்களிடையான இடைமுகமாகவோ இருந்தால், இந்த நிலைமை சற்று சிக்கலானது. படுவலையின் ஒரு பகுதி எதிரடித்து மறுபகுதி இரண்டாம் ஊடகத்துக்கு செல்கிறது. அலை இரண்டு வெவ்வேறு ஊடகங்களுக்கிடையான இடைமுகத்தில் சாய்வாக படும்போது செல்லும் அலையை **விலகலை** என்கிறோம். படுவலையும் விலகலையும் சுனெலின் விதிக்கும் படுவலையும் எதிரடிப்பலையும் வழக்கமான எதிரொளிப்பு விதிகளுக்கும் உட்படுகின்றன.



படம் 15.11 ஒரு நெளியா வரப்பை சந்திக்கும் ஒரு துடிப்பு எதிரடித்தல்

படம் 15.11 நீட்டிய சரத்தில் பயணிக்கும் துடிப்பு வரப்பில் எதிரடிப்பதை காட்டுகிறது. வரப்பு ஆற்றலை உட்கவரவில்லை என்று எடுகொண்டால், எதிரடித்த துடிப்புக்கு படுதுடிப்பின் வடிவமே உள்ளது ஆனால் அதன் கட்டம் 180° யால் மாறுகிறது. ஏனெனில், வரப்பு நெளியாதது; வரப்பில் இடப்பெயர்ச்சி எப்போதும் சுழியமாகவேண்டும். மேலமைவுக் கொள்கையால், படுவலையும் எதிரடிப்பலையும் π அளவுள்ள கட்டவேறுபாட்டுடன் விளைவுமத்தை சுழியாக்கினால் மட்டுமே இது சாத்தியம். இந்த ஏரணித்தல் நெளியாச்சுவரில் வரப்புவரைக்கட்டின் அடிப்படையிலானது. இயக்கத்தை கருதுவதாலும் இதே முடிவை வந்தடையலாம். துடிப்பு சுவரில் வரும்போது, அது சுவரில் ஒரு விசையை செலுத்துகிறது. நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி, சுவர் சரத்தில் சமமான விசையை எதிர்த்திசையில் செலுத்தி π கட்டக்கோணத்தில் வேறுபடும் எதிரடிப் பலையை உண்டாக்குகிறது.

இதன் மறுபக்கமாக, வரப்புப்புள்ளி நெளியாத தாக இல்லாமல் முற்றிலும் அசையக்கூடியதா யிருந்தால் (கோலில் கட்டின்றி அசையும் ஒரு வளையத்தில் கட்டிய சரத்தைப்போல்), எதிரடித்த துடிப்புக்கு படுதுடிப்பின் கட்டமும் வீச்சகலமும் உள்ளது (ஆற்றல் வெளிப்போதல் இல்லை என்ற எடுகோளுடன்). அப்படியெனில், வரப்பில் நிகர மீப்பெரும இடப்பெயர்ச்சி ஒவ்வொரு துடிப்பின் வீச்சகலத்தின் இருமடங்கு. இசைக்குழாயின் திறந்த துனி நெளியாமையற்ற வரப்புக்கு ஒரு சான்று.

சுருக்கவுரையாக, பயணிக்கும் ஒரு அலையோ துடிப்போ ஒரு நெளியாவரப்பில் எதிரடிக்கும்போது π கட்டவேறுபாட்டுக் குள்ளாகிறது. திறந்த வரப்பில் எதிரடிக்கும்போது

கட்டவேறுபாட்டுக்குள்ளாக வில்லை. இதை கணிதவடிவில் உரைக்க, பயணிக்கும் படுவலை

$$y_2(x, t) = a \text{ வவி}(kx - \omega t)$$

என்க. நெளியாவரப்பில் எதிரடித்த அலையை

$$y_1(x, t) = a \text{ வவி}(kx - \omega t + \pi) \\ = -a \text{ வவி}(kx - \omega t) \quad (15.35)$$

என்றும், திறந்த வரப்பில் எதிரடித்த அலையை

$$y_1(x, t) = a \text{ வவி}(kx - \omega t + 0) \\ = a \text{ வவி}(kx - \omega t) \quad (15.36)$$

என்றும் எழுதலாம். நெளியாவரப்பில் எப்போதும் $y = y_2 + y_1 = 0$ என்பது தெளிவு.

15.6.1 கிடப்பலைகளும் இயல்புநிலமங்களும்

முற்பகுதியில் ஒற்றைவரப்பில் எதிரடிப்பை கருதினோம். ஆனால், (இருநுகளிலும் நிலையான சரம், இருநுகளிலும் மூடிய குழாயிலுள்ள வளித்தம்பம் போன்ற) சில வழக்கமான நிலைமைகளில் இரண்டோ மேற்பட்டதோவான வரப்புகளில் எதிரடிப்பு நிகழ்கிறது. சான்றாக, ஒரு சரத்தில் ஒரு திசையில் பயணிக்கும் ஒரு அலை ஒரு நுகளில் எதிரடித்து பயணித்து மறுமுனையிலும் எதிரடிக்கிறது. இது சரத்தில் ஒரு சீறுறுதியான அலைப்பாங்கு நிலைபெறும்வரை தொடர்கிறது. இவ்வாறான அலைப்பாங்குகளை கிடப்பலைகள் என்கிறோம். இதை கணிதமூலம் காண, x அச்சின் நேர்மத்திசையில் பயணிக்கும் ஒரு அலையையும் அதே வீச்சகலமும் அலைநீளமுமுள்ளதும் x அச்சின் எதிர்மத்திசையில் பயணிப்பதுமான எதிரடித்த அலையையும் கருதுவோம். (15.2), (15.4) ஆகிய சமன்பாடுகளை எதிரடித்து, $\phi = 0$ என்று கொண்டு,

$$y_1(x, t) = a \text{ வவி}(kx - \omega t)$$

$$y_2(x, t) = a \text{ வவி}(kx + \omega t)$$

என்று பெறுகிறோம். சரத்திலுள்ள விளைவு அலை, மேலமைவுக்கொள்கையால்

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \\ = a(\text{வவி}(kx - \omega t) + \text{வவி}(kx + \omega t))$$

என்றாகிறது. இந்த கூட்டலை நாமறிந்த

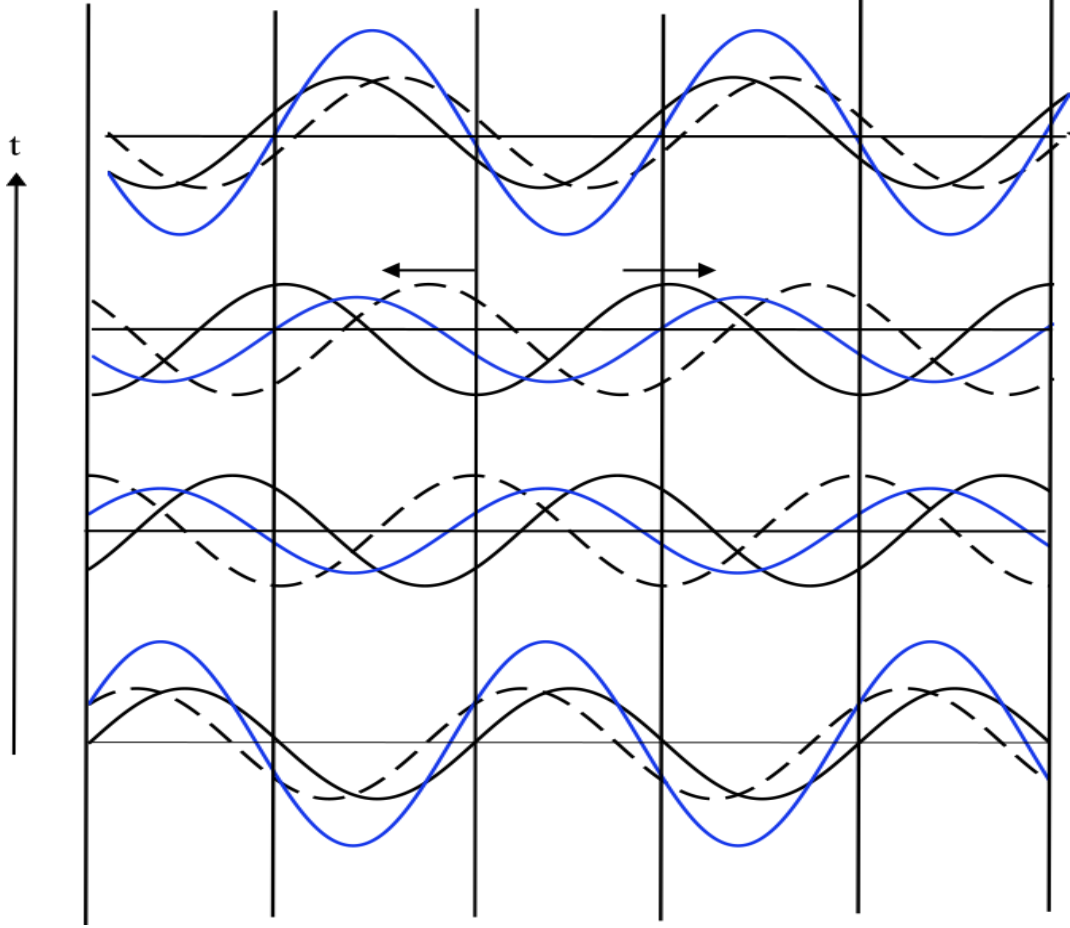
$$\text{வவி}(A + B) + \text{வவி}(A - B) = 2 \text{ வவி } A \text{ உவவி } B$$

என்ற முக்கோணவிய முற்றொருமையால் செய்தோம்.

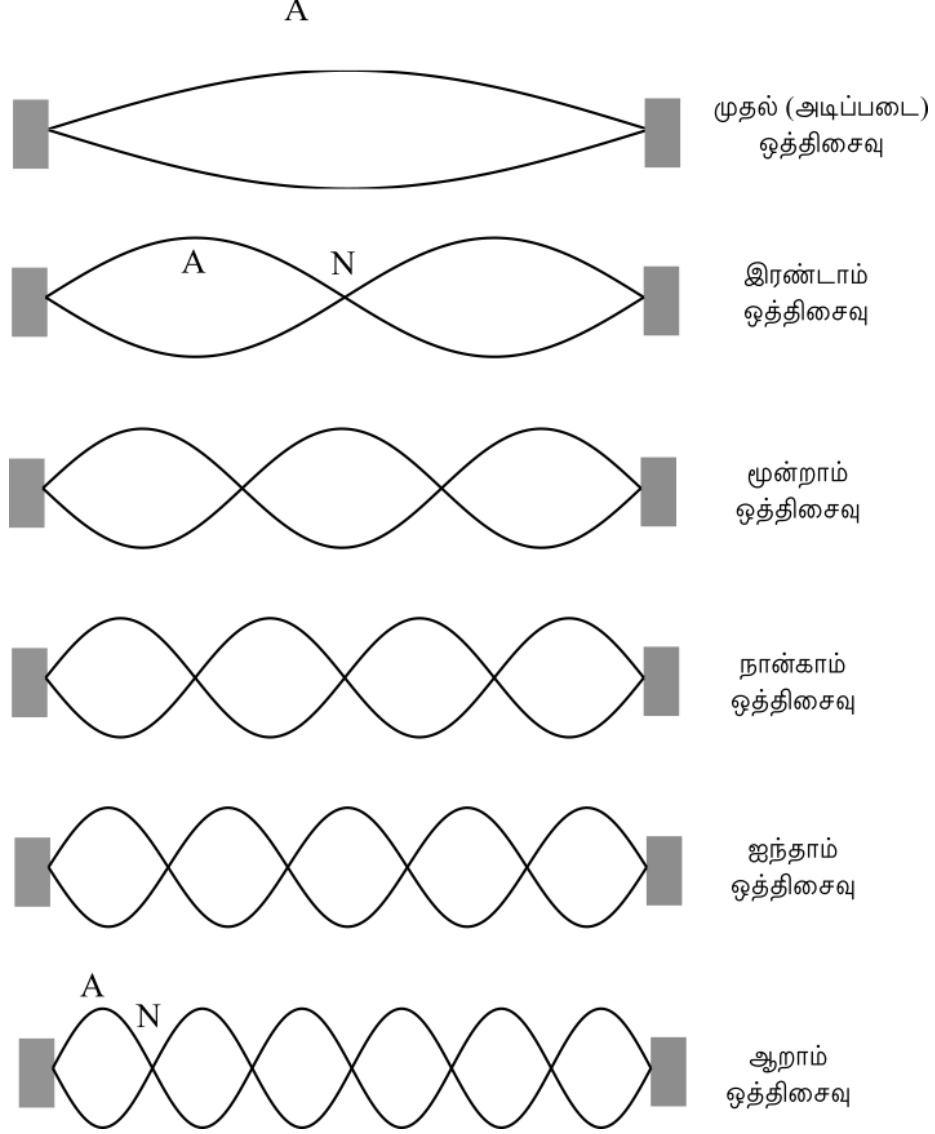
$$y(x, t) = 2a \text{ வவி } kx \text{ உவவி } \omega t \quad (15.37)$$

(15.37) ஆம் சமன்பாடு விவரிக்கும் அலைப் பாங்கு (15.2) ஆம் சமன்பாடோ (15.4) ஆம் சமன்பாடோ விவரிப்பதிலிருந்து ஒரு முக்கியமான விதத்தில் வேறுபடுவதை நோக்குக. kt , ωt ஆகிய உருபுகள் தனித்தனியே தோன்றுகின்றன; $kx - \omega t$ என்றவாறு சேர்ந்து தோன்றவில்லை. அலையின் வீச்சகலம் $2a$ வவி kx . இவ்வாறு, இந்த அலைப் பாங்கில் வீச்சகலம் புள்ளிக்குப்புள்ளி மாறுகிறது; ஆனால், சரத்தின் ஒவ்வொரு தனிகமும் ω என்ற ஒரே கோண அலைவெண்ணில், அதாவது சீரொழுங்கில், அலைவுறுகிறது. அலையில் வெவ்வேறு தனிகங்களின் அலைவுகளுக்கிடையில் கட்டவேறுபாடு இல்லை. முழுச்சரமும் ஒரே கட்டத்தில் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் வெவ்வேறு வீச்சகலங்களுடன் அலைவுறுகிறது. அலைப்பாங்கு இடப்பக்கமோ வலப்பக்கமோ அசையவில்லை. எனவே, இவற்றை கிடப்பலைகள் என்கிறோம். ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் வீச்சகலம் மாறாதது; ஆனால் மேலே சொன்னபடி வெவ்வேறு இடங்களில் வெவ்வேறானது. வீச்சகலம் சுழியமாகும் இடங்களை, அதாவது, அசைவே இல்லாத இடங்களை **கணுக்கள்** என்கிறோம்; வீச்சகலம் மீப்பெருமமான இடங்களை **எதிர்க்கணுக்கள்** என்கிறோம். எதிரெதிர்த்திசைகளில் பயணிக்கும் இரண்டு ஒத்திசையலைகளின் மேலமைவால் எழும் கிடப்பலைகளை படம் 15.12 காட்டுகிறது.

கிடப்பலைகளின் மீப்பொருளுள்ள பண்புக்கூறு என்னவென்றால், அமைப்பின் சாத்தியமான அதிர்வலைவெண்களையும் அலைநீளங்களையும் வரப்புவரைக்கட்டுகள் கட்டுறுத்துகின்றன. அமைப்பு எந்த குறிப்பற்ற அலைவெண்ணிலும் அலைவுற வியலாது. இது பயணிக்கும் ஒத்திசையலைவி லிருந்து மாறுபட்டது. கிடப்பலைகளுக்கு ஒரு இயல்பான அலைவெண்கணம் உள்ளது. இதை நாம் அலைவின் **இயல்புநிலமங்கள்** என்று அழைக்கிறோம். இருநுகளிலும் பொருத்திய ஒரு சரத்தின் இயல்புநிலமங்களை இப்போது தீர்மானிப்போம்.



படம் 15.12 எதிரெதிர்த்திசைகளில் பயணிக்கும் இரண்டு ஒத்திசையலைகளின் மேலமைவால் எழும் கிடப்பலைகள்.



படம் 15.13 இரு நுனிகளில் நீட்டிப்பொருத்திய சரத்தின் அலைவுகளின் முதல் ஆறு ஒத்திசைவுகள்

முதலில், (15.37)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து (வீச்சகலம் சுழியமாகும்) கணுக்களின் இடநிலைகளை வவி $kx = 0$ என்று பெறுகிறோம். அதாவது, $kx = n\pi$, $n = 0, 1, 2, \dots$ இதிலிருந்து, $k = 2\pi/\lambda$ என்பதால்,

$$x = \frac{n\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (15.38)$$

என்று பெறுகிறோம். எந்த அடுத்தடுத்த இரண்டு கணுக்களுக்குமிடையான தொலைவு $\lambda/2$ என்பது தெளிவு. அதைப்போலவே, (வீச்சகலம் மீப்பெருமமாகும்) எதிர்க்கணுக்களின் இடநிலைகளை வவி kx இன் மீப்பெரும மதிப்புகள் தருகின்றன. அதாவது, $|vவி\ kx| = 1$. இது

$$kx = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

என்பதை உள்ளரைக்கிறது. $k = 2\pi/\lambda$ என்பதை பயன்படுத்தி

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (15.39)$$

எனக்காண்கிறோம். இங்கும், அடுத்தடுத்த எதிர்க்கணுக்களுக்கிடையான தொலைவு $\lambda/2$.

(15.38)ஆம் சமன்பாட்டை இருநுனிகளிலும் தொய்வின்றி பொருத்திய L நீளமுள்ள ஒரு சரத்துக்கு பயனாக்கலாம். ஒரு நுனியை $x = 0$ இலும் மறு நுனியை $x = L$ இலும் எடுத்தால், $x = 0$, $x = L$ ஆகியவை கணுக்களின் இடநிலைகள் என்பவை வரப்புவரைக்கட்டுகள். $x = 0$

வரைக்கட்டு ஏற்கெனவே நிறைவாகிறது. $x = L$ கணு என்ற வரைக்கட்டுக்கு L என்ற நீளம் λ வுடன்

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (15.40)$$

என்ற உறவிலிருப்பது தேவையாகிறது. இவ்வாறு, கிடப்பலைகளின் சாத்தியமான அலைநீளங்கள்

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (15.41)$$

என்ற உறவால் கட்டுறுகின்றன. இவற்றுக்கு நிகரான அலைவெண்கள்

$$v = \frac{nv}{2L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (15.42)$$

இவ்வாறு, அமைப்பின் இயல்பான அலைவெண்களை, அதாவது அலைவின் இயல்புநிலமங்களை, பெற்றிருக்கிறோம். ஓரமைப்பின் சாத்தியமான மீச்சிறும் இயல்பலைவெண்ணை அதன் **அடிப்படை நிலமம்** என்றும் **முதல் ஒத்திசைவு** என்றும் அழைக்கிறோம். இருநுனிகளில் நீட்டிப்பொருத்திய சரத்துக்கு இது (15.42)ஆம் சமன்பாட்டின் $n = 1$ க்கு நிகரான $v = v/2L$, இங்கு v அலையின் வேகம்; இதை ஊடகத்தின் பண்புகள் தீர்மானிக்கின்றன. $n = 2$ க்கு நிகரான அலைவெண்ணை இரண்டாம் ஒத்திசைவு, $n = 3$ ஐ மூன்றாம் ஒத்திசைவு என்று இவ்வாறே அழைக்கிறோம். வெவ்வேறு ஒத்திசைவுகளை v_n ($n = 1, 2, \dots$) என்று குறியிடிகிறோம்.

இரு நுனிகளிலும் நீட்டிப்பொருத்திய சரத்தின் முதல் ஆறு ஒத்திசைவுகளை படம் 15.13 காட்டுகிறது ஒரு சரம் இந்த நிலமங்களுள் ஒன்றில் மட்டுமே அதிர்வேண்டியதில்லை. பொதுவாக ஒரு சரத்தின் அதிர்வு வெவ்வேறு நிலமங்களின் மேலமைவு. இவற்றுள் சில அதிகமாகவும் சில குறைவாகவும் கிளர்ச்சியடைந்திருக்கலாம். சித்தார், வயலின் போன்ற இசைக்கருவிகள் இந்த அடிப்படையிலானவை. ஒரு சரத்தை எந்த இடத்தில் தட்டுகிறோமோ கீறுகிறோமோ அது எந்த நிலமங்கள் மற்றவற்றைவிட அதிகமாக முன்னிற்கின்றன என்பதை தீர்மானிக்கிறது.

அடுத்ததாக ஒரு நுனி திறந்தும் மறுநுனி மூடியுமுள்ள ஒரு வளித்தம்பத்தின் இயல்புநிலமங்களை கருதுவோம். நீரால் பகுதிநிரம்பிய ஒரு கண்ணாடிக்குழாய் இந்த அமைப்பை எடுத்துக் காட்டுகிறது. நீருள்ள நுனி ஒரு கணு; திறந்த நுனி ஒரு எதிர்க்கணு. கணுவில் அழுத்தமாற்றங்கள் மீயதிகமானவை; இடப்பெயர்ச்சி மீக்குறைவு (சூழியம்). திறந்த நுனியான எதிர்க்கணுவில் திருப்பியவாறு; அதாவது, குறைந்த அழுத்த மாற்றமும் இடப்பெயர்ச்சியின் அதிக வீச்சுகலமும். நீர்நுனியை $x = 0$ என்று எடுக்கிறோம். கணுவரைக் கட்டான (15.38)ஆம் சமன்பாடு

ஏற்கெனவே நிறைவேறுகிறது. மறுநுனியான $x = L$ எதிர்க்கணு எனில், (15.39)ஆம் சமன்பாடு

$$L = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

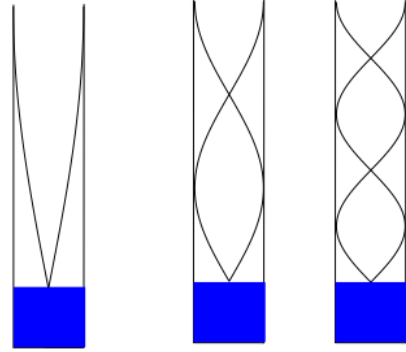
என்று தருகிறது. சாத்தியமான அலைநீளங்களை

$$\lambda = \frac{2L}{n + 1/2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (15.43)$$

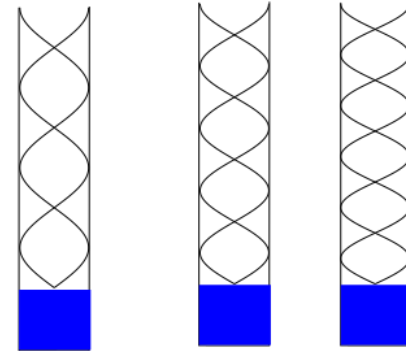
என்ற உறவு கட்டுறுத்துகிறது. அமைப்பின் இயல்புநிலமங்கள் (இயல்பான அலைவெண்கள்)

$$v = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{v}{2L}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (15.44)$$

அடிப்படையலைவெண் $n = 0$ த்துக்கு நிகரானது; அது $v/4L$. உயரலைவெண்கள் **ஒற்றைப்படை** ஒத்திசைவுகள்; அதாவது அடிப்படையலை வெண்ணின் ஒற்றைப்படை மடங்குகள்; அவை $3v/4L, 5v/4L$, இன்ன பிற.



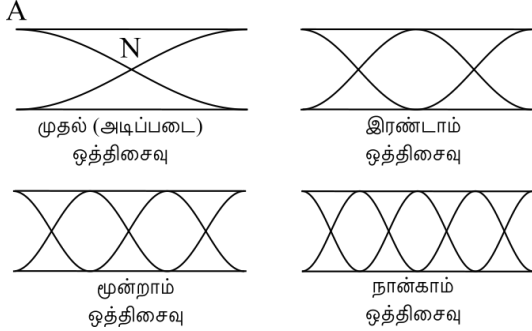
முதல் (அடிப்படை) ஒத்திசைவு மூன்றாம் ஒத்திசைவு ஐந்தாம் ஒத்திசைவு



ஏழாம் ஒத்திசைவு ஒன்பதாம் ஒத்திசைவு பதினொன்றாம் ஒத்திசைவு
படம் 15.14 ஒரு நுனியில் திறந்ததும் மறு நுனியில் மூடியதுமான ஒரு வளித்தம்பத்தின் இயல்புநிலமங்கள். ஒற்றைப்படை ஒத்திசைவுகளே சாத்தியம் என்று காண்கிறோம்.

ஒரு நுனியில் திறந்ததும் மறு நுனியில் மூடியதுமான ஒரு வளித்தம்பத்தின் இயல்புநிலமங்களை படம் 15.14 காட்டுகிறது.

இரண்டு நுனிகளிலும் திறந்த குழாயில் ஒவ்வொரு நுனியும் எதிர்க்கணு. இங்கு எல்லா ஒத்திசைவுகளும் தோன்றுவதை காண்கிறோம். (படம் 15.15).



படம் 15.15 திறந்த குழாயில் கிடப்பலைகள். முதல் நான்கு ஒத்திசைவுகள் காட்டப்பட்டுள்ளன.

மேற்கண்ட சரங்களும் தம்பங்களுமான அமைப்புகள் விசையூட்டிய அலைவுகளுக்கும் உட்படலாம் (படலம் 14). புறவிசையின் அலைவெண் ஒரு இயல்பலைவெண்ணுக்கு அருகில் இருந்தால் அமைப்பு ஒத்தலைவுக்கு உள்ளாகிறது.

ஒரு பறையிலுள்ளதுபோல் ஒரு வளையத்தின் பரிதியில் இழுத்துக்கட்டிய ஒரு வட்டச்சவ்வின் இயல்புநிலமங்களை சவ்வின் பரிதியத்திலுள்ள எந்தப்புள்ளியும் அதிர்வதில்லை என்ற வரப்புவரைக்கட்டு தீர்மானிக்கிறது. இந்த அமைப்பின் இயல்பு நிலமங்களின் அலைவெண்களை மதிப்பிடுவது மேலும் உட்கிக்கலானது. இந்த சிக்கலுக்கு இருபரிமாணத்தில் அலையின் பரவுநடை தேவைப்படுகிறது. ஆனால், அடியிற்கிடக்கும் இயற்பியல் ஒன்றே.

சிக்கல் 15.5

30 cm நீளமுள்ள ஒரு குழாய் இரண்டு நுனிகளிலும் திறந்துள்ளது. ஒரு 1.1 kHz மூலம் குழாயின் எந்த ஒத்திசைநிலமத்தை ஒத்தலையச் செய்கிறது? ஒரு நுனி மூடியிருந்தால் இதே மூலத்துடன் ஒத்தலைவை காண்போமா? வளியில் ஒளியின் வேகத்தை 330 m s^{-1} எனக்கொள்க.

தீர்வு

முதல் ஒத்திசைவலைவெண்

$$v_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}, \quad (\text{திறந்த குழாய்})$$

இங்கு, L குழாயின் நீளம். n ஆம் ஒத்திசைவின் அலைவெண்

$$v_n = \frac{nv}{2L},$$

$$n = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{திறந்த குழாய்})$$

திறந்த குழாயின் முதல் சில நிலமங்களை படம் 15.15 காட்டுகிறது. $L = 30 \text{ cm}$, $v = 330 \text{ m s}^{-1}$ எனில்,

$$v_n = \frac{n \cdot 330 \text{ m s}^{-1}}{0.6 \text{ m}} = 550 n \text{ s}^{-1}$$

1.1 kHz மூலம் v_2 வில், அதாவது இரண்டாம் ஒத்திசைவில் ஒத்தலையும் என்பது தெளிவு.

இப்போது, குழாயின் ஒரு நுனி மூடியிருந்தால் (படம் 15.15), அடிப்படையலைவெண்

$$v = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{v}{2L}$$

என்பதையும், ஒற்றைப்படை ஒத்திசைவுகளை உள்ளன என்பதையும் (15.44)ஆம் சமன்பாட்டி லிருந்து அறிகிறோம். அதாவது,

$$v_3 = \frac{3v}{4L}, \quad v_5 = \frac{5v}{4L}, \quad \text{என்றிவ்வாறே}$$

$L = 30 \text{ cm}$, $v = 330 \text{ m s}^{-1}$ எனில், ஒரு நுனியின் மூடிய குழாயின் அடிப்படையலைவெண் 275 Hz ; மூலத்தின் அலைவெண் நான்காம் ஒத்திசைவுக்கு நிகரானது. இந்த ஒத்திசைவு சாத்தியமான நிலமமன்று என்பதால், மூலத்துடன் ஒத்தலைவை காணமாட்டோம்.



இசைத்தூண்கள்

கோவில்களிலுள்ள தூண்களில் இசைக் கருவிகளை மீட்டும் மனிதவருவங்களை நாம் அடிக்கடி காண்கிறோம். ஆனால் தூண்களே இசைமீட்டுவதை கண்டிருக்கிறீர்களா? தமிழ்நாட்டிலுள்ள நெல்லையப்பர்கோவிலில்

ஒரே பாறையிலிருந்து செதுக்கிய தூண்களின் ஒரு தொகுதி இருக்கிறது. இந்த தூண்களில் தட்டும்போது ஒவ்வொன்றும் இந்தியச்செவ்விசையின் ச, ரி, க, ம, ப, த, நி ஆகிய அடிப்படை சுருதிகளுள் ஒன்றை எழுப்புகிறது. இந்த தூண்களின் அதிர்வுகள் கல்லின் மீண்மை, அதன் அடர்வு, வடிவம் ஆகியவற்றை சார்ந்தது.

இசைத்தூண்களை மூன்றாக வகைப்படுத்தலாம். முதலாவது வகை சுருதித்தூண்கள். இவை அடிப்படைச்சுருதிகளை உண்டாக்குகின்றன. இரண்டாம் வகை கானத்தூண்கள். இவை பண்களை உண்டாக்கும் அடிப்படை இசைவுகளை உண்டாக்குகின்றன. மூன்றாம் வகை இலயத்தூண்கள். இவை தாளங்களை உண்டாக்குகின்றன. நெல்லையப்பர்கோவிலிலுள்ளவை சுருதித்தூண்களும் இலயத்தூண்களும்.

அகழாய்வியலர்கள் நெல்லையப்பர் கோவில் 7ஆம் நூற்றாண்டில் அடுத்தடுத்த பாண்டிய மன்னர்கள் கட்டியதாக கணக்கிடுகின்றனர்.

நெல்லையப்பர்கோவிலிலும் தென்னிந்தியாவின் அம்பி (படத்தில்), கன்னியாகுமரி, திருவனந்தபுரம் போன்ற மற்ற பலவிடங்களின் கோவில்களிலுமுள்ள இசைத்தூண்கள் இந்தியாவுக்கு ஒருத்துவமானவை: இவற்றுக்கு இணையானவை உலகில் வேறங்கும் இல்லை.

15.7 விம்மல்கள்

ஒலியியலில் 'விம்மல்' என்பது அலைகள் குறுக்கிடுவதால் ஏற்படும் ஒரு ஆர்வமான தோற்றப்பாடு. நெருங்கிய (ஆனால் சமமற்ற) அலைவெண்களுள்ள இரண்டு ஒத்திசையொலியலைகளை ஒரே நேரத்தில் கேட்கும்போது ஒத்த அலைவெண்ணில் ஒரு ஒலியை கேட்கிறோம்; ஆனால் வேறொன்றையும் கேட்கிறோம். இரண்டு அலைவெண்களின் வேறுபாட்டுக்குச்சமமான அலைவெண்ணில் ஒரொலி உயர்ந்து தாழ்வதை தெளிவாக கேட்கிறோம். கலைஞர்கள் தம் கருவிகளை ஒன்றுடனொன்று இசைவாக்க இந்த தோற்றப்பாட்டை பயன்படுத்துவது வழக்கம். தம் கூரிய காதுகளுக்கு விம்மல்கள் கேட்காதவண்ணம் இசைவாக்குகிறார்கள்.

இதை கணிதவழியில் காண, கிட்டத்தட்ட சமமான ω_1 , ω_2 என்ற கோணவலைவெண்களுள்ள இரண்டு ஒத்திசையொலியலைகளை கருதுவோம். வசதிக்காக அவற்றின் இருப்பிடங்களை $x = 0$ என்று கொள்வோம். (15.2)ஆம் சமன்பாடு, பொருத்தமான கட்டத்தேர்வுகளுடனும் (இரண்டுக்கும் $\phi = \pi/2$), சமமான வீச்சகலத்துடனும்

$$s_1 = a \text{ உவவி } \omega_1 t; \quad s_2 = a \text{ உவவி } \omega_2 t \quad (15.45)$$

என்பதை தருகிறது. இங்கு நாம் நெடுக்குவாட்டு இடப்பெயர்ச்சியை குறிப்பதால் y என்ற அடையா எத்தை பயன்படுத்தாமல், s பயன்படுத்துகிறோம். இரண்டினுள்ளும் ω_1 சற்று அதிகமான அலைவெண் எனக்கொள்வோம். விளைவு இடப்பெயர்ச்சியை மேலமைவுக் கொள்கையால்

$$s = s_1 + s_2 = a (\text{உவவி } \omega_1 t + \text{உவவி } \omega_2 t)$$

என்று பெறுகிறோம். நாமறிந்த உவவி $A +$ உவவி B க்கான முக்கோணவிய முற்றொருமையால் இது

$$s = 2a \text{ உவவி } \frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2} \text{ உவவி } \frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2} \quad (15.46)$$

என்றாகிறது. இதை

$$s = 2a \text{ உவவி } \omega_b t \text{ உவவி } \omega_a t \quad (15.47)$$

என்று எழுதலாம்; இங்கு,

$$\omega_b = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}, \quad \omega_a = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

இப்போது, $|\omega_1 - \omega_2| \ll \omega_1$ எனில், $\omega_a \gg \omega_b$. அப்போது, (15.47)ஆம் சமன்பாட்டை

கீழ்க்கண்ட வாறு பொருளுரைலாம். விளைவு அலை சராசரியான கோண அலைவெண்ணாகிய ω_a இல் அலைவுறுகிறது. ஆனால் அதன் வீச்சகலம் நேரத்தில் மாறிலியாக இல்லை. இவ்வகையில் இது தாய ஒத்திசையலையிலிருந்து மாறுபடுகிறது. வீச்சகலம் மீப்பெரும மாவது உவவி $\omega_b t$ என்ற உருபு தன் எல்லை மதிப்புகளான ± 1 ஐ எடுக்கும்போது நிகழ்கிறது. வேறுவிதமாகச்சொன்னால், விளைவு அலையின் உரப்பு $2\omega_b = \omega_1 - \omega_2$ என்ற அலைவெண்ணுடன் ஏறியிறங்குகிறது. $\omega = 2\pi\nu$ என்பதால், விம்மலலைவெண்

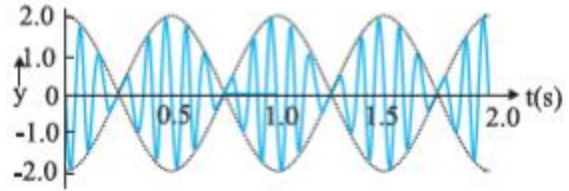
$$\nu_{\text{விம்}} = \nu_1 - \nu_2 \quad (15.48)$$



(a)



(b)



(c)

படம் 15.16 (அ)வில் காட்டிய 11 Hz

அலைவெண்ணுள்ளதும் (ஆ)வில் காட்டிய 9 Hz அலைவெண்ணுள்ளதான இரண்டு ஒத்திசையலைகள் மேலமைந்து (இ)யில் காட்டிய 2 Hz விம்மல்களை உண்டாக்குதல்

படம் 15.16 11 Hz அலைவெண்ணும் 9 Hz

அலைவெண்ணுமுள்ள இரண்டு ஒத்திசையலைகளின் விம்மல்களை எடுத்துக்காட்டுகிறது. விளைவு அலையின் வீச்சகலம் 2 Hz அலைவெண்ணில் விம்மல்களை காட்டுகிறது.

சிக்கல் 15.6

தைவதத்தை இசைக்கும் A , B என்ற இரண்டு வயலின்சரங்கள் சற்றே இசைவின்றி இருப்பதால் 5 Hz விம்மல்கள் உண்டாகின்றன. B யின் விறைப்பை சற்று அதிகரிப்பதால் விம்மலின் அலைவெண் 3 Hzஆக குறைகிறது. A யின் அலைவெண்

வேகம் v என்க. அலைவெண்ணையும் சீரொழுங்கையும் நிலையான ஒரு கண்டறிவர ஊடகத்தைப்பொறுத்து அளவிடுகிறார். கண்டறிவரிடம் ஓரலையின் முகடு தன்னையடையும்போதெல்லாம் எண்ணுகிற ஒரு துய்யறிவி இருப்பதாக கொள்வோம்.

படம் 15.17ஆம் படத்தில் காட்டியபடி, $t = 0$ த்தில் மூலம் கண்டறிவரிலிருந்து L தொலைவிலுள்ள S_1 இலிருந்து ஒரு முகட்டை உமிழ்கிறது. இது கண்டறிவரை $t_1 = L/v$ என்ற நேரத்தில் வந்தடைகிறது. $t = T_0$ என்ற நேரத்தில் மூலம் $v_{\text{ஹ}}T_0$ என்ற தொலைவை கடந்து கண்டறிவரிலிருந்து $(L + v_{\text{ஹ}}T_0)$ தொலைவிலுள்ள S_2 இல் இருக்கிறது. S_2 இல் மூலம் அடுத்த முகட்டை உமிழ்கிறது. இது கண்டறிவரை

$$t_2 = T_0 + \frac{L + v_{\text{ஹ}}T_0}{v}$$

என்ற நேரத்தில் அடைகிறது. nT_0 என்ற நேரத்தில் மூலம் $(n + 1)$ ஆம் முகட்டை உமிழ்கிறது. இது கண்டறிவரை

$$t_{n+1} = nT_0 + \frac{L + nv_{\text{ஹ}}T_0}{v}$$

என்ற நேரத்தில் அடைகிறது. எனவே,

$$nT_0 + \frac{L + nv_{\text{ஹ}}T_0}{v} - Lv$$

என்ற நேர இடைவெளியில் கண்டறிவரின் துய்யறிவி n முகடுகளை எண்ணுகிறது; கண்டறிவர அலையின் சீரொழுங்கை

$$T = \frac{\left[nT_0 + \frac{L + nv_{\text{ஹ}}T_0}{v} - \frac{L}{v} \right]}{n} = T_0 + \frac{v_{\text{ஹ}}T_0}{v}$$

அதாவது,

$$T = T_0 \left(1 + \frac{v_{\text{ஹ}}}{v} \right) \quad (15.49)$$

என்று குறித்துக்கொள்கிறார். (15.49)ஆம் சமன் பாட்டை மூலமும் கண்டறிவரும் நிலையாயிருந்தால் தோன்றும் அலைவெண்ணான v_0 , மூலம் அசையும்போது தோன்றும் அலைவெண்ணான v ஆகியவற்றின்வழி

$$v = v_0 \left(1 + \frac{v_{\text{ஹ}}}{v} \right)^{-1} \quad (15.50)$$

என்று எழுதலாம். அலையின் வேகமான v யின் ஒப்பீட்டில் $v_{\text{ஹ}}$ சிறியதாயிருந்தால், $v_{\text{ஹ}}/v$ யின் முதல் முறைமைவரை ஈருறுப்புவிரிவாக்கலை எடுத்து உயருருபுகளை புறக்கணித்து (15.50)ஆம் சமன்பாட்டை

$$v = v_0 \left(1 - \frac{v_{\text{ஹ}}}{v} \right) \quad (15.51)$$

என்று தோராயமாக்கலாம். மூலம் கண்டறிவரை அணுகும்போது v_s ஐ $-v_s$ ஆல் மாற்றிட்டு

$$v = v_0 \left(1 + \frac{v_{\text{ஹ}}}{v} \right) \quad (15.52)$$

என்று பெறுகிறோம். இவ்வாறு, மூலம் கண்டறிவரிடமிருந்து விலகும்போது நிலையான மூலத்தின் அலைவெண்ணைவிட குறைந்த அலைவெண்ணை அளக்கிறார்; மூலம் அணுகும்போது உயர்ந்த அலைவெண்ணை அளக்கிறார்.

15.8.2 அசையும் கண்டறிவரும் நிலையான மூலமும்

இப்போது, நிலையான மூலத்தைநோக்கி கண்டறிவர $v_{\text{ஈ}}$ வேகத்துடன் அசையும்போது ஏற்படும் தாப்பிளரின் விளைவை வருவிக்க நாம் வேறுவிதமாக செயலாற்றவேண்டும். அசையும் கண்டறிவரின் நோக்கீட்டுச்சட்டத்தை கருதுகிறோம். இந்த நோக்கீட்டுச்சட்டத்தில் மூலமும் ஊடகமும் $v_{\text{ஈ}}$ வேகத்தில் அணுகுகின்றன; இதனால் அலை அணுகும் வேகம் $v_{\text{ஈ}} + v$. முந்திய பகுதியில் பின்பற்றியதைப்போன்ற ஒரு செய்முறையை பின்பற்றி, முதல் முகடும் $(n + 1)$ ஆம் முகடும் வந்துசேரும் நேர இடைவெளியை

$$t_{n+1} - t_1 = nT_0 - \frac{nv_{\text{ஈ}}T_0}{v_{\text{ஈ}} + v}$$

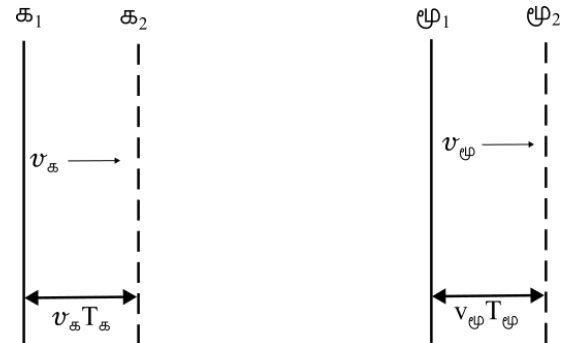
என்று காண்கிறோம். இவ்வாறு, கண்டறிவர அலையின் அலைவுநேரம்

$$= T_0 \left(1 - \frac{v_{\text{ஈ}}}{v_{\text{ஈ}} + v} \right) = T_0 \left(1 + \frac{v_{\text{ஈ}}}{v} \right)^{-1}$$

என்றிருப்பதாக காண்கிறார். இது

$$v = v_{\text{ஈ}} \left(1 + \frac{v_{\text{ஈ}}}{v} \right) \quad (15.53)$$

என்று தருகிறது. $v_{\text{ஈ}}/v$ சிறியது எனில், மூலம் அசைந்தாலும் கண்டறிவர அசைந்தாலும் தாப்பிளரின் விளைவு கிட்டத்தட்ட ஒன்றே; ஏனெனில் (15.53) ஆம் சமன்பாடும் தோராயமான (15.51)உம் ஒன்றே.



படம் 15.18 மூலமும் கண்டறிவரும் வெவ்வேறு இசைவேகங்களில் அசையும்போது தாப்பிளரின் விளைவு

15.8.3 மூலமும் கண்டறிவரும் அசைதல்

இப்போது, மூலமும் கண்டறிவரும் அசையும்போது தாப்பிளரின் விளைவுக்கான பொதுக்கோவையை வருவிப்போம். முன்பு போலவே, கண்டறிவரிலிருந்து மூலத்துக்கான திசையை நேர்மத்திசையாக கொள்வோம். படம் 15.18இல் காட்டியபடி, மூலமும் கண்டறிவரும் முறையே $v_{\text{மூ}}$, $v_{\text{க}}$ ஆகிய திசைவேகங்களில் அசைவதாக கொள்வோம். $t = 0$ என்ற நேரத்தில் கண்டறிவர் O_1 என்ற இடத்திலும் மூலம் S_1 என்ற இடத்திலும் இருப்ப தாகவும் S_1 இன் இடப்பக்கத்தில் O_1 இருப்பதாகவும் கொள்வோம். மூலம் v திசைவேகமும் v அலைவெண் ணும் T_0 அலைநேரமுமுள்ள ஒரு அலையை உமிழ்கிறது; இவற்றையெல்லாம் ஊடகத்தின் நோக்கீட்டுச் சட்டத்தில் நிலையாயிருக்கும் கண்டறிவரின் நோக்குநிலையில் அளக்கிறோம். மூலம் முதல் முகட்டை உமிழும் $t = 0$ என்ற நேரத்தில் O_1 க்கும் S_1 க்குமிடையான தொலைவு L என்க. இப்போது, கண்டறிவர் அசைவதால் அலையின் திசைவேகம் கண்டறிவரின் ஒப்பீட்டில் $v + v_{\text{க}}$. எனவே, முதன்முகடு கண்டறிவரை $t_1 + L/(v + v_{\text{க}})$ என்ற நேரத்தில் அடைகிறது. $t = T_0$ என்ற நேரத்தில் கண்டறிவரும் மூலமும் தம் புதிய இடநிலைகளாகிய முறையே O_2 , S_2 ஆகிய இடங்க ளுக்கு வந்துவிட்டனர். கண்டறிவருக்கும் மூலத்துக்கு மிடையான புதிய தொலைவு $O_2S_2 = L + (v_{\text{மூ}} - v_{\text{க}})T_0$. மூலம் S_2 இலிருந்து இரண்டாம் முகட்டை உமிழ்கிறது. இது கண்டறிவரை அடையும் நேரம்

$$t_2 = T_0 + \frac{L_0 + (v_{\text{மூ}} - v_{\text{க}})T_0}{v + v_{\text{க}}}$$

nT_0 என்ற நேரத்தில் மூலம் $(n + 1)$ ஆம் முகட்டை உமிழ்கிறது. இது கண்டறிவரை

$$t_{n+1} = nT_0 + \frac{L + n(v_{\text{மூ}} - v_{\text{க}})T_0}{v + v_{\text{க}}}$$

என்ற நேரத்தில் அடைகிறது. எனவே,

$$t_{n+1} - t_1 = nT_0 + \frac{L + n(v_{\text{மூ}} - v_{\text{க}})T_0}{v + v_{\text{க}}} - \frac{L}{v + v_{\text{க}}}$$

என்ற நேர இடைவெளியில் கண்டறிவர் n முகடு களை எண்ணுகிறார்; அலையின் சீரொழுங்கை

$$T = T_0 \left(1 + \frac{v_{\text{மூ}} - v_{\text{க}}}{v + v_{\text{க}}} \right) = T_0 \left(\frac{v + v_{\text{மூ}}}{v + v_{\text{க}}} \right) \quad (15.54)$$

என்று காண்கிறார். கண்டறிவர் காணும் அலைவெண்

$$v = v_0 \left(\frac{v + v_{\text{க}}}{v + v_{\text{மூ}}} \right) \quad (15.55)$$

நேரான தண்டவாளத்தில் ஓடும் தொடர் வண்டியில் அமர்ந்திருக்கும் பயணியை கருதுக. தொடர்வண்டியில் ஓட்டுநர் ஊதும் ஊதலை பயணி கேட்கிறார். அவர் கேட்கும் அலைவெண் என்ன? இங்கு கண்டறிவரும் மூலமும் ஒரே திசைவேகத்தில் பயணிப்பதால் அலைவெண் ணின் நகர்வு இல்லாமல் பயணி இயல்பான அலைவெண்ணையே கேட்பார். ஆனால், வெளியில் தண்டவாளத்தின் ஒப்பளவில் நிலையாயிருக்கும் ஒரு கண்டறிவர் தொடர்வண்டி அவரை நெருங்கும்போது உயரலைவெண்ணை கேட்பார்; விலகும்போது தாழ்லைவெண்ணை கேட்பார்.

கண்டறிவரிலிருந்து மூலத்துக்கான திசையை நேர்த்திசையாக நாம் வரையறுத் திருப்பதை நோக்குக. எனவே, கண்டறிவர் மூலத்தைநோக்கி அசைந்தால், $v_{\text{க}}$ நேர்ம மதிப்புள்ளது; மூலத்திலிருந்து விலகி நகர்ந்தால் எதிர்மமதிப்புள்ளது. இதன் மறுபக்கமாக, மூலம் கண்டறிவரிலிருந்து விலகி நகர்ந்தால் $v_{\text{மூ}}$ நேர்மமதிப்புள்ளது; கண்டறிவரை நோக்கி நகர்ந்தால், எதிர்மமதிப்புள்ளது. மூலம் உமிழும் ஒலி எல்லாத்திசைகளிலும் பயணிக்கிறது. கண்டறிவரைநோக்கி வரும் ஒலியின் பகுதியையே அவர் பெற்று துய்யறிகிறார். எனவே, கண்டறிவரைப் பொறுத்து ஒலியின் ஒப்புமத்திசைவேகம் எல்லா வேற்றுவங்களிலும் $v + v_{\text{க}}$.

சிக்கல் 15.7

ஒரு ஏலூர்தி ஒரு நிலையான இலக்கைநோக்கி 200 m s^{-1} வேகத்தில் அசைகிறது. அசையும் போது, 1000 Hz அலைவெண்ணுள்ள அலையை உமிழ்கிறது. இலக்கை அடையும் ஒலியின் ஒரு பகுதி எதிரடித்து ஏலூர்திக்கு எதிரொலியாக வருகிறது. (அ) இலக்கில் கண்டறிந்தவாறு ஒலியின் அலைவெண்ணையும் (ஆ) ஏலூர்தியில் துய்யறியும் எதிரொலியின் அலைவெண்ணையும் கணக் கிடுக.

தீர்வு

(அ) கண்டறிவர் நிலையாயிருக்க, மூலம் 200 m s^{-1} வேகத்தில் அசைகிறது. இது ஒலியின் வேகமான 330 m s^{-1} உடன் ஒப்பிடக்கூடியது; எனவே, நாம் (15.50)ஆம் சமன்பாட்டை பயன் படுத்தவேண்டும்; தோராயமான (15.51)ஆம் சமன்பாட்டை பயன்படுத்தவியலாது. மூலம் நிலையான இலக்கை அணுகுவதால், $v_{\text{க}} = 0$, $v_{\text{மூ}}$ ஐ $-v_{\text{மூ}}$ ஆல் மாற்றிடவேண்டும். இவ்வாறு,

$$v = v_0 \left(1 - \frac{v_{\text{மூ}}}{v}\right)^{-1}$$

$$= 1000 \text{ Hz} \times \left(1 - \frac{200 \text{ m s}^{-1}}{330 \text{ m s}^{-1}}\right)^{-1} = 2540 \text{ Hz}$$

(ஆ) இப்போது இலக்கு மூலம்; அதாவது எதிரொலியின் மூலம். ஏலூர்தியின் துய்யறிவி கண்டறிவர். எனவே, $v_{\text{மூ}} = 0$, $v_{\text{க}}$ நேர்மமதிப் புள்ளது. மூலம் (இலக்கு) உமிழும் ஒலியின் அலைவெண் v . இதுவே இலக்கு பெறும் அலைவெண்; $v_{\text{க}}$ அன்று. எனவே, ஏலூர்தியில் பதிவுறும் அலைவெண்

$$v' = v \left(\frac{v + v_{\text{க}}}{v}\right) = 2540 \text{ Hz}$$

$$\times \frac{200 \text{ m s}^{-1} + 330 \text{ m s}^{-1}}{330 \text{ m s}^{-1}}$$

$$= 4080 \text{ Hz}$$

தாப்பிளர்விளைவின் பயன்பாடு

அசையும் பொருள்கள் தாப்பிளர்விளை வால் அலைவெண்ணில் ஏற்படுத்தும் நகர்வால் பொருள்களின் திசைவேகங்களை கணக்கிடலாம். இது படையாளம், மருத்துவம், வானியற்பியல் போன்ற பலவிதமான புலங்களில் பயன்படுகிறது. இதை காவற்றுறையினர் ஊர்திகளின் வேகங்களை கண்காணிப்பதிலும் பயன்படுத்து கிறார்கள்.

அலைவெண் தெரிந்த ஒரு ஒலியலையையோ மின்காந்த அலையையோ அசையும் பொருளைநோக்கி அனுப்புகி றார்கள். அலையின் ஒரு பகுதி பொருளிலிருந்து எதிரடிக்கிறது. இதன் அலைவெண்ணை கண்காணிப்புநிலையத் தில் துய்யறிகிறார்கள். அலைவெண்ணில் ஏற்படும் மாற்றத்தை **தாப்பிளர்நகர்வு** என்கிறோம்.

இது விமானநிலையங்களில் வானூர்தி களை வழிநடத்தவும் படையாளத்தில் எதிரிவானூர்தியை துய்யறியவும் பயன் படுகிறது. வானியற்பியலர்கள் உடுக்களின் திசைவேகங்களை அளக்க இதை பயன்படுத்துகிறார்கள்.

மருத்துவர்கள் இதயத்துடிப்பையும் உடலின் பலபாகங்களில் குருதிப்பாய்வையும் ஆய்ந்தறிய பயன்படுத்துகிறார்கள். இங்கு இவர்கள் புறவொலியலைகளை பயன்படுத்து கிறார்கள். பொது நடைமுறையில் இது **ஒலிவரைவு** எனப்படுகிறது புறவொலியலை கள் ஒருவருடலில் நுழைந்து அதன் ஒரு பகுதி எதிரடித்து குருதியசைவையும் இதயத் தடுக்கிதழ்களின் துடிப்புகளையும் வளர் கருவின் இதயத்துடிப்புகளையும் பற்றிய தகவல் களை தருகிறது. இதயத்தின் வேற்றுவத்தில் இவ்வாறு உண்டாக்கிய படத்தை **எதிரொலி யிதயவரைவு** என்கிறோம்.

சுருக்கவுரை

1. எந்திரவிய அலைகள் பொருண்மலுடகங்களில் இருக்கலாம். இவற்றை நியூட்டனின் விதிகள் ஆள்கின்றன.
2. குறுக்கலையில் ஊடகத்தின் துகள்கள் அலையின் பரவுநடைக்கு செங்குத்தான திசையில் அலைவுறுகின்றன.
3. நெடுக்கலையில் ஊடகத்தின் துகள்கள் அலையின் பரவுநடைக்கு நேராக அலைவுறுகின்றன.
4. பயணலை ஊடகத்தின் ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு அசைகிறது.
5. நேர்ம x அச்சின் திசையில் பரவுநடைக்கும் வளைவடிவ அலையில் இடப்பெயர்ச்சியை $y(x, t) = a \sin(kx - \omega t + \phi)$ என்ற கோவை தருகிறது.
6. பயணலையின் அலைநீளமான λ என்பது ஒரே நேரத்தில் ஒரே கட்டத்திலுள்ள அடுத்தடுத்த புள்ளிகளிடையான தொலைவு. ஒரு கிடப்பலையில் இரண்டு அடுத்தடுத்த கணுக்களிடையோ எதிர்க்கணுக்களிடையோவான தொலைவின் இரண்டு மடங்கு.
7. அலையின் அலைநேரமான T என்பது ஊடகத்தின் எந்தவொரு தனிகமும் அலைவின் ஒரு முழுச்சுழற்சியை மேற்கொள்ள ஆகும் நேரம் என்று வரையறுக்கிறோம். இது கோண அலைவெண்ணான ω வுடன் $T = 2\pi/\omega$ என்ற தொடர்புடையது.
8. அலையின் அலைவெண்ணை $1/T$ என்று வரையறுக்கிறோம். இது கோண அலைவெண்ணுடன் $v = \omega/2\pi$ என்ற தொடர்புள்ளது.
9. பயணலையின் வேகம் $v = \omega/k = \lambda/T = \lambda v$.
10. நீட்டிய சரத்தில் குறுக்குவாட்டலையின் வேகத்தை சரத்தின் பண்புகள் தீர்மானிக்கின்றன. T என்ற விறைப்பும் μ என்ற நிறையடர்வுமுள்ள ஒரு சரத்தில் வேகம் $v = \sqrt{T/\mu}$.
11. ஒலியலைகள் என்பவை திண்மம், நீர்மம், வளிமம் ஆகியவற்றின்வழி பயணிக்கவல்ல நெடுக்குவாட்டு எந்திரவிய அலைகள். B பருமக்குணகமும் ρ அடர்வுமுள்ள ஒரு பாய்மத்தில்

ஒலியின் வேகம் $v = \sqrt{B/\rho}$. ஒரு மாழைப்பாரையில் நெடுக்கலையின் வேகம் $v = \sqrt{Y/\rho}$. வளிமத்தில், $B = \gamma P$ என்பதால், ஒலியின் வேகம் $v = \sqrt{\gamma P/\rho}$.

12. இரண்டோ மேற்பட்டதோவான அலைகள் ஒரு ஊடகத்தில் ஒரேநேரத்தில் நடக்கையிடும்போது ஊடகத்தின் எந்தவொரு தனிகத்தின் இடப்பெயர்ச்சியும் ஒவ்வொரு அலையாலுமான இடப்பெயர்ச்சிகளின் இயற்கூட்டல். இதை அலைகளின் மேலமைவுக்கொள்கை என்கிறோம்.

$$y = \sum_{i=1}^n f_i(x - vt)$$

13. ஒரே சரத்திலுள்ள இரண்டு வளைவுவ அலைகள் மேலமைவுக்கொள்கைப்படி கூடியும் சுழிந்தும் குறுக்கிடுகின்றன. இரண்டும் ஒரே திசையில் பயணித்து இரண்டுக்கும் ஒரே வீச்சகலமும் அலைவெண்ணும் இருந்து, அவற்றின் கட்டங்கள் ϕ என்ற கட்டமாறிலியால் வேறுபட்டால், விளைவு அதே ω என்ற அலைவெண்ணுள்ள ஒரு ஒற்றையலை

$$y(x, t) = \left(2a \text{ உவவி } \frac{\phi}{2} \right) \text{வவி} \left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2} \right)$$

ϕ சுழியமாகவோ 2π யின் முழுவெண் மடங்காகவோ இருந்தால், அலைகள் முழுச்சரியாக கட்டத்திலுள்ளன; அவற்றின் குறுக்கீடு கட்டுமானம்; $\phi = \pi$ எனில், அவை முழுச்சரியாக கட்டமின்றி உள்ளன; அவற்றின் குறுக்கீடு இடிமானம்.

14. பயணிக்கும் ஒரு அலை ஒரு நெளியாவரப்பிலோ ஒரு மூடிய நுனியிலோ கட்டத்திருப்பதுடன் எதிரடிக்கிறது. ஆனால் ஒரு திறந்த முனையில் எதிரொளிப்பு கட்டத்திருப்பமின்றி நிகழ்கிறது. $y(x, t) = a \text{வவி} (kx - \omega t)$ என்ற படுவலைக்கு நெளியாவரப்பில் எதிரடித்த அலை $y(x, t) = a \text{வவி} (kx + \omega t)$; திறந்த வரப்பில் எதிரடித்த அலை $y(x, t) = a \text{வவி} (kx + \omega t)$.

15. எதிரெதிர்த்திசைகளில் பயணிக்கும் இரண்டு முற்றொருமையான அலைகளின் குறுக்கீடு கிடப்பலையை உண்டாக்குகிறது. நுனிகள் நிலையாக பொருத்தப்பட்ட சரத்தில் கிடப்பலையை

$$y(x, t) = 2a \text{வவி} (kx) \text{ உவவி } \omega t$$

விவரிக்கிறது. கிடப்பலைகளில் கணுக்கள் எனப்படும் சுழிய இடப்பெயர்ச்சியுள்ள நிலையான புள்ளிகளும் எதிர்க்கணுக்கள் எனப்படும் மீப்பெரும இடப்பெயர்ச்சியுள்ள நிலையான புள்ளிகளும் உள்ளன. அடுத்தடுத்த இரண்டு கணுக்களிடையான தொலைவு $\lambda/2$.

L நீளமுள்ள ஒரு நீட்டிய சரம் இரண்டு நுனிகளிலும் நிலையாக பொருத்தப்பட்டிருக்கும்போது அதில்

$$v = \frac{nv}{2L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

என்ற அலைவெண்களில் கிடப்பலைகள் உள்ளன. இந்த அலைவெண்கள் அமைப்பின் அலைவின் இயல்புநிலமங்கள் எனப்படுகின்றன. மீக்குறைந்த அலைவெண்ணுள்ள அலைவுநிலமத்தை அடிப்படைநிலமம் என்றோ முதல் ஒத்திசைவு என்றோ அழைக்கிறோம். $n = 2$ நிலமம் இரண்டாம் ஒத்திசைவு, என்றிவ்வாறே அழைக்கிறோம்.

(வளித்தம்பம் போன்ற) ஒரு நுனியில் மூடியதும் மறுநுனியில் திறந்ததுமான L நீளமுள்ள ஒரு குழாய்

$$v = \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{v}{2L}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

என்ற அலைவெண்களுடன் அதிர்கிறது. இந்த அலைவெண்கள் இத்தகைய அமைப்பின் இயல்புநிலமங்கள். ஒவ்வொரு அலைவெண்ணும் அமைப்பின் ஒத்திசையலைவெண். $v/4L$ என்ற மீச்சிறும் அலைவெண் அடிப்படைநிலமம், அதாவது முதல் ஒத்திசைவு.

16. இரண்டு நுனிகளிலும் நிலையான ஒரு சரமோ ஒரு நுனியில் மூடியதும் மறு நுனியில் திறந்ததுமான ஒரு வளித்தம்பமோ இரண்டு நுனிகளிலும் திறந்த வளித்தம்பமோ இயல்புநிலமங்கள் எனப்படும் சில குறிப்பிட்ட அலையெண்களிலே அலைவுறுகிறது. இவற்றுள் ஒவ்வொன்றும் அமைப்பு ஒத்தலைவதன் அலைவெண்.

17. ஒத்த வீச்சகலங்களும் v_1, v_2 என்ற சற்றே வேறுபடும் அலைவெண்களுமுள்ள அலைகள் மேலமையும்போது $v_{\text{ஊ}} = v_1 - v_2$ என்ற அலைவெண்களுள்ள விம்மல்கள் உண்டாகின்றன.

18. தாப்பிளரின் விளைவு என்பது மூலமோ கண்டறிவரோ இரண்டுமோ ஊடகத்தின் ஒப்பீட்டில் அசையும்போது அலையின் அலைவெண்களில் ஏற்படும் மாற்றம். ஒலிக்கு, கண்டறிந்த அலைவெண் (v) மூலத்தின் அலைவெண்ணுடன் (v_0)

$$v = v_0 \left(\frac{v + v_{\text{க}}}{v + v_{\text{ஊ}}} \right)$$

என்ற உறவுள்ளது; இங்கு, v ஊடகத்தில் ஒலியின் வேகம், v_s ஊடகத்தின் ஒப்பளவில் கண்டறிவரின் வேகம், v_m ஊடகத்தின் ஒப்பளவில் மூலத்தின் வேகம். இந்த வாய்ப்பாட்டை பயன்படுத்தும்போது கண்டறிவரிலிருந்து மூலத்தைநோக்கிய திசைவேகங்களை நேர்மமாகவும் எதிர்த்திசையிலுள்ளவற்றை எதிர்மமாகவும் எடுக்கவேண்டும். .

இயலளவு	அடையாளம்	பருமானங்கள்	அலகு	குறிப்புரை
அலைநீளம்	λ	$[L]$	m	ஒரே கட்டத்திலுள்ள அடுத்தடுத்த புள்ளிகளிடையான தொலைவு
பரவுநடைமாறிலி	k	$[L^{-1}]$	m^{-1}	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
அலைவேகம்	v	$[LT^{-1}]$	$m s^{-1}$	$v = v\lambda$
விம்மலலைவெண்	ν	$[T^{-1}]$	s^{-1}	மேலமையும் அலைகளின் இரண்டு நெருங்கிய அலைவெண்களின் வேறுபாடு

உங்கள் சிந்தனைக்கு

1. அலை ஊடகத்திலுள்ள பொருண்மத்தின் மொத்த அசைவன்று. காற்று வளியிலுள்ள ஒலியலையிலிருந்து மாறுபட்டது. முந்தையதில் வளி ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்துக்கு அசைகிறது. பிந்தையதில் வளியின் படலங்கள் அமுங்கி விடுபடுகின்றன.
2. அலையில் ஆற்றல் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்துக்கு மாற்றலாகிறது; பொருண்மம் மாற்றலாகவில்லை.
3. ஒரு எந்திரவிய அலையில், அலையும் ஊடகத்தின் அண்டையப்பகுதிகளிடையான மீண்மவிசைகளின் இணைக்கட்டலால் ஆற்றலின் மாற்றல் நிகழ்கிறது.
4. குறுக்கலைகள் மீண்மத்தின் கத்தரிக்குணகமுள்ள ஊடகங்களிலே பரவுநடக்கவியலும். நெடுக்கலைகளுக்கு மீண்மத்தின் பருமக்குணகம் தேவை; எனவே இது திண்மம், நீர்மம், வளிமம் ஆகிய எல்லா ஊடகங்களிலும் சாத்தியம்.
5. குறிப்பிட்ட அலைவெண்ணுள்ள ஒத்திசைவ பயணலையில் எல்லாத்துகளுக்கும் குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரே வீச்சகலமும் வெவ்வேறு கட்டங்களும் உள்ளன. கிடப்பலையில் இரண்டு கணுக்களுக்கிடையிலுள்ள எல்லாத்துகளுக்கும் குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரே கட்டமும் வெவ்வேறு வீச்சகலங்களும் உள்ளன.
6. ஒரு ஊடகத்தில் நிலையான கண்டறிவரின் ஒப்பளவில் அந்த ஊடகத்திலுள்ள ஒரு எந்திரவிய அலையின் வேகம் (v) ஊடகத்தின் மீண்மப்பண்புகளையும் (அடர்வு போன்ற) மற்றப்பண்புகளையும் சார்ந்திருக்கிறது. மூலத்தின் திசைவேகத்தை சார்ந்திருக்கவில்லை.
7. ஊடகத்தின் ஒப்பளவில் v_s என்ற திசைவேகத்தில் அசையும் ஒரு கண்டறிவருக்கு அலையின் வேகம் v யிலிருந்து மாறுபடுவது தெளிவு. அது $v \pm v_s$ வுக்கு சமம்.

பயிற்சிகள்

- 15.1 2.5 kg நிறையுள்ள ஒரு சரம் 200 N விறைப்புக்கு உள்ளாகிறது. நீட்டிய சரத்தின் நீளம் 20.0 m . சரத்தின் ஒரு நுனியில் குறுக்குவாட்டாக சுண்டினால், இந்த கலக்கம் மறுநுனியை அடைய எவ்வளவு நேரம் ஆகும்?
- 15.2 300 m உயரமுள்ள ஒரு கோபுரத்தின் உச்சியிலிருந்து ஒரு கல்லை விடுகிறோம். அது கோபுரத்தின் அடியிலுள்ள குட்டையில் நீரில் விழுகிறது. கல் விழும் ஒலி கோபுரத்தின் உச்சியில் எப்போது கேட்கும்? வளியில் ஒலியின் வேகம் 340 m s^{-1} ; $g = 9.8 \text{ m s}^{-1}$.
- 15.3 ஒரு எஃகுக்கம்பியின் நீளம் 12.0 m ; அதன் நிறை 2.10 kg . கம்பியில் குறுக்கலையின் வேகம் உலர்வளியில் 20°C யில் ஒலியின் வேகமான 343 m s^{-1} க்கு சமமாகவேண்டுமெனில், கம்பியில் இருக்கவேண்டிய விறைப்பு என்ன?

- 15.4 $v = \sqrt{\gamma P / \rho}$ என்ற வாய்ப்பாட்டை பயன்படுத்தி, வளியில் ஒலியில் வேகம்
- அழுத்தத்தை சாராதது
 - வெப்பநிலையுடன் அதிகரிக்கிறது
 - வளியீரத்துடன் அதிகரிக்கிறது
- ஆகியவற்றை விளக்குக.
- 15.5 ஒற்றைப்பருமானத்தில் பயணிக்கும் ஓரலையை $y = f(x, t)$ என்ற ஒரு சார்பனால் குறிக்கலாம் என்று நீங்கள் கற்றிருக்கிறீர்கள்; இங்கு, x உம் t யும் $x - vt$ என்ற சேர்க்கையிலோ $x + vt$ என்பதிலோ தோன்றவேண்டும். அதாவது $y = f(x \pm vt)$ என்றிருக்கிறது. இதன் திருப்புக்கூற்று உண்மையா? கீழ்க்காணும் y க்கான சார்பன்கள் ஒரு பயணலையை (பயணிக்கும் அலையை) குறிப்பது சாத்தியமா என்று சோதிக்க.
- $(x - vt)^2$
 - $\log \frac{(x + vt)}{x}$
 - $\frac{1}{x + vt}$
- 15.6 ஒரு வெளவால் வளியில் 1000 kHz அலைவெண்ணுள்ள புறவொலியை உமிழ்கிறது. இந்த ஒலி ஒரு நீர்ப்பரப்பை சந்தித்தால், (அ) எதிரடித்த ஒலி, (ஆ) உட்செல்லும் ஒலி ஆகியவற்றின் அலைநீளங்கள் யாவை? ஒலியின் வேகம் வளியில் 340 m s^{-1} ; நீரில் 1486 m s^{-1} .
- 15.7 ஒரு மருத்துவமனை திசுவில் கழலையை இடமறிய ஒரு புறவொலியவரியோடியை பயன்படுத்துகிறது. ஒலியின் வேகம் 1.7 km s^{-1} உள்ள ஒரு திசுவில் ஒலியின் அலைநீளம் என்ன? வரியோடியின் செயலாற்ற அலைவெண் 4.2 MHz.
- 15.8 ஒரு சரத்திலுள்ள குறுக்குவாட்டு ஒத்திசைவ அலையை $y(x, t) = 3.0 \text{ வவி}(36t + 0.018x + \pi/4)$ விவரிக்கிறது; இங்கு, x உம் y யும் cm இலும் t s இலும் அளக்கப்படுகின்றன. x இன் நேர்மத்திசை இடவலமானது (அதாவது, இடமிருந்து வலமானது).
- இது ஒரு பயணலையா கிடப்பலையா? பயணலை எனில், அதன் பரவுநடையின் வேகமும் திசையும் யாவை?
 - அதன் வீச்சகலமும் அலைவெண்ணும் யாவை?
 - மூலத்தில் அதன் தொடக்கக்கட்டம் என்ன?
 - அலையில் அடுத்தடுத்த முகடுகளிடையான மீக்குறைந்த தொலைவு என்ன?
- 15.9 8ஆம் பயிற்சியிலுள்ள அலைக்கு, $x = 0, 2, 4 \text{ cm}$ ஆகியவற்றுக்கு, t யெதிராக இடப்பெயர்ச்சிக்கான (y) வளைவரையை வரைக. இந்த வளைவரைகளின் வடிவங்கள் யாவை? பயணலையில் அலைவசைவு எந்த பண்புக்கூறில் ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்ற புள்ளிக்கு வேறுபடுகிறது, வீச்சகலத்திலா, அலைவெண்ணிலா, கட்டத்திலா?
- 15.10 $y(x, t) = 2.0$ உவவி $2\pi(10t - 0.0080x + 0.35)$ என்ற பயணிக்கும் ஒத்திசைவலைக்கு $x, y \text{ cm}$ இலும் $t \text{ s}$ இலும் இருக்கின்றன. கீழ்க்காணும் தொலைவுகளால் பிரிக்கப்பட்ட இரண்டு புள்ளிகளின் அலைவசைவுகளுக்கிடையான கட்டவேறுபாட்டை கணக்கிடுக. (அ) 4 மீ (ஆ) 0.5 மீ (இ) $\lambda/2$ (ஈ) $3\lambda/4$.
- 15.11 இருமுனைகளிலும் நிலையாக பொருத்திய ஒரு சரத்தின் குறுக்குவாட்டு இடப்பெயர்ச்சியை
- $$y(x, t) = 0.06 \text{ வவி} \left(\frac{2\pi}{3} x \right) \text{ உவவி}(120 \pi t)$$
- தருகிறது ($x, y \text{ m}$ இலும் $t \text{ s}$ இலும்). சரத்தின் நீளம் 1.5 m , அதன் நிறை $3.0 \times 10^{-2} \text{ kg}$ எனில்,
- இந்த சார்பன் ஒரு பயணலையை குறிக்கிறதா, கிடப்பலையை குறிக்கிறதா?
 - இந்த அலையை எதிரெதிர்த்திசைகளில் பயணிக்கும் இரண்டு அலைகளின் மேலமைவாக பொருளுணர். ஒவ்வொன்றின் அலைநீளம், அலைவெண், வேகம் ஆகியவை யாவை?
 - சரத்திலுள்ள விறைப்பை தீர்மானிக்க.
- 15.12 11ஆம் பயிற்சியில் சொன்ன சரத்துக்கு

- a. சரத்தில் எல்லாப்புள்ளிகளும் ஒரே (அ) அலைவெண்ணுடன், (ஆ) கட்டத்தில், (இ) வீச்சகலத்துடன் அலைவறுகின்றனவா? விடையை விளக்குக
- b. ஒரு நுனியிலிருந்து 0.375 m தொலைவிலுள்ள புள்ளியின் வீச்சகலம் என்ன?
- 15.13 (குறுக்கலையோ நெடுக்கலையோவான) ஒரு மீண்மலையின் இடப்பெயர்ச்சியை குறிக்க x , t ஆகியவற்றின் கீழ்க்காணும் சார்பன்களை தருகிறோம். இவற்றுள் (அ) எவை பயணலைகள், (ஆ) எவை கிடப்பலைகள், (இ) எவை இரண்டுமற்றவை என்று கூறுக
- a. $y = 2$ உவவி $3x$ வவி $10t$
- b. $y = 2\sqrt{x - vt}$
- c. $y = 3$ வவி $(5x - 0.5t) + 4$ உவவி $(5x - 0.5t)$
- d. $y =$ உவவி x வவி $t +$ உவவி $2x$ வவி $2t$
- 15.14 இரண்டு நெளியாத ஆதரவுகளிடையில் இழுத்துக்கட்டப்பட்ட ஒரு கம்பி அதன் அடிப்படைநிலமத்தில் 45 Hz அலைவெண்ணுடன் அதிர்கிறது. கம்பியின் நிறை $3.5 \times 10^{-2} \text{ kg}$; அதன் நேரிய நிறையடர்வு $4.0 \times 10^{-2} \text{ kg m}^{-1}$. (அ) கம்பியிலுள்ள ஒரு குறுக்கலையின் வேகம் என்ன? (ஆ) கம்பியிலுள்ள விறைப்பு என்ன?
- 15.15 ஒருநுனியில் திறந்தும் மறுநுனியில் அசையக்கூடிய ஒரு உந்துதண்டுமுள்ள ஒரு மீட்டர் நீளமான குழாய் குறிப்பிட்ட அலைவெண்ணுள்ள ஒரு மூலத்துடன் (340 Hz உள்ள ஒரு இசைப்புக்கலை) ஒத்தலைவறுகிறது. இந்த ஒத்தலைவு குழாயின் நீளம் 25.5 cm ஆகவோ 79.3 cm ஆகவோ இருக்கும்போது நிகழ்கிறது. இந்த பரிசோதனையின் வெப்பநிலையில் வளியில் ஒலியின் வேகத்தை மதிப்பிடுக. விளிம்புவிளைவுகளை புறக்கணிக்கலாம்.
- 15.16 100 cm நீளமான ஒரு எஃகுப்பாரையை அதன் நடுவில் கவ்வுகிறோம். பாரையின் நெடுக்கதிர்வுகளின் அடிப்படையலைவெண் 2.53 kHz . எஃகில் ஒலியின் வேகம் என்ன?
- 15.17 20 cm நீளமான ஒரு குழாய் ஒருநுனியில் மூடப்பட்டுள்ளது. ஒரு 430 Hz மூலம் குழாயின் எந்த ஒத்திசைநிலமத்தை கிளர்க்கும்? இருநுனிகளும் திறந்திருந்தால் இதே மூலம் குழாயுடன் ஒத்தலையுமா? (வளியில் ஒலியின் வேகம் 340 m s^{-1}).
- 15.18 'க' என்ற சுதியை வாசிக்கும் A, B என்ற இரண்டு வீணைக்கம்பிகள் சற்று இசைவற்றுள்ளன; 6 Hz விம்மலை உண்டாக்குகின்றன. A யின் விறைப்பை சற்று குறைக்கும்போது விம்மலைவெண் 3 Hz க்கு குறைகிறது. A யின் தொடக்க அலைவெண் 324 Hz எனில், B யின் அலைவெண் என்ன?
- 15.19 ஏனென்று விளக்குக.
- a. ஒரு ஒலியலையில் இடப்பெயர்ச்சிக்கணு அழுத்தத்தின் எதிர்க்கணுவும் திருப்பியவாறும்.
- b. வெளவால்கள் கண்ணின்றியே பொருள்களின் தொலைவுகளையும் திசைகளையும் இயல்புகளையும் அளவுகளையும் அறுதியிடுகின்றன.
- c. வயலினில் ஒரு சுருதிக்கும் சித்தாரின் ஒரு சுருதிக்கும் ஒரே அலைவெண் இருப்பினும் அவற்றை நாம் வேறுபடுத்தலாம்.
- d. திண்மங்களில் குறுக்கலைகளும் நெடுக்கலைகளும் இருக்கலாம்; ஆனால் வளிமங்களில் நெடுக்கலைகளே பரவுநடக்கலாம்.
- e. ஒரு துடிப்பின் வடிவம் ஒரு பரத்தூடகத்தில் (பரத்துகின்ற ஊடகத்தில்) பரவுநடக்கும்போது பிறழ்கிறது.
- 15.20 ஒரு தொடர்வண்டிநிலையத்தை கடந்து செல்லும் விரைவுவண்டி 400 Hz ஊதலை காற்றில்லா வளியில் வெளியிடுகிறது.
- a. நடைமேடையிலுள்ள ஒரு கண்டறிவருக்கு வண்டி 10 m s^{-1} வேகத்தில் (அ) அணுகும்போது (ஆ) விலகும்போது ஊதலின் அலைவெண் என்ன?
- b. ஒவ்வொரு வேற்றுவத்திலும் ஒலியின் வேகம் என்ன? நிலையான வளியில் ஒலியின் வேகத்தை 340 m s^{-1} எனக்கொள்க.
- 15.21 ஒரு தொடர்வண்டி நிலையவளவிலிருந்து 400 Hz ஊதலை காற்றில்லா வளியில் வெளியிடுகிறது. காற்று வளவிலிருந்து நிலையத்தைநோக்கி 10 m s^{-1} வேகத்தில் வீசத்தொடங்குகிறது. நிலையநடைமேடையில் நிற்கும் ஒரு கண்டறிவருக்கு ஒலியின்

அலைவெண், அலைநீளம், வேகம் ஆகியவை யாவை? இது வளி நிலையாயிருக்கும்போது கண்டறிவர் வளவைநோக்கி 10 m s^{-1} வேகத்தில் ஓடும் நிலைமையுடன் முழுச்சரியாக முற்றொருமையானதா? நிலையான வளியில் ஒலியின் வேகத்தை 340 m s^{-1} எனக்கொள்க.

மேலும் பயிற்சிகள்

15.22 ஒரு சரத்தில் பயணிக்கும் ஒத்திசைவலையை

$$y(x, t) = 7.5 \text{ வளி} \left(0.0050x + 12t + \frac{\pi}{4} \right)$$

விவரிக்கிறது.

- $x = 1 \text{ cm}$ என்ற புள்ளியில் $t = 1 \text{ s}$ நேரத்தில் அலைவின் இடப்பெயர்ச்சியும் திசைவேகமும் யாவை? இந்த திசைவேகம் அலையின் பரவுநடைத்திசைவேகத்துக்கு சமமா?
- $t = 2 \text{ s}, 5 \text{ s}, 11 \text{ s}$ ஆகிய நேரங்களில் $x = 1 \text{ cm}$ புள்ளியிலுள்ள அதே குறுக்குவாட்டு இடப்பெயர்ச்சியும் திசைவேகமுள்ள புள்ளிகளை காண்க.

15.23 ஒரு குறுகலான ஒலித்துடிப்பை (சான்றாக, ஊதலின் சிறு பீப்பொலி) ஒரு ஊடகத்தில் செலுத்துகிறோம்.

- இந்த துடிப்புக்கு திட்டவட்டமான (அ) அலைவெண் (ஆ) அலைநீளம் (இ) வேகம் உள்ளனவா?
- துடிப்பு வீதம் 20 s க்கு ஒன்று (அதாவது ஒவ்வொரு 20 s க்குப்பின்னும் ஊதல் இரு இமைப்பொழுதுக்கு ஒலிக்கிறது) எனில், ஊதல் உண்டாக்கும் சுருதியின் அலைவெண் $1/20$ க்கு, அதாவது 0.05 Hz க்கு, சமமா?

15.24 $8.0 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$ நேரிய நிறையடர்வுள்ள நீண்ட சரத்தின் ஒரு நுனி மின்சாரத்தால் ஓட்டப்படுவதும் 256 Hz அலைவெண்ணுள்ளதுமான ஒரு இசைப்புக்கவையுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. மறுநுனி ஒரு கப்பியின் வழியாக சென்று 90 kg நிறையடங்கிய ஒரு தட்டுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கப்பியுனி உள்வரும் எல்லா ஆற்றலையும் உட்கவர்வதால் இந்த நுனியில் எதிரடிக்கும் அலைகளின் வீச்சகலம் புறக்கணிக்கத்தக்கது. $t = 0$ இல் சரத்தின் இடப்பக்க நுனியான $x = 0$ (இசைப்புக்கவையுனியில்) குறுக்குவாட்டில் சுழிய இடப்பெயர்ச்சியில் இருக்கிறது; அது நேர்ம y ய்ச்சுக்குநேராக அசைகிறது. அலையின் வீச்சகலம் 5.0 cm . சரத்தில் அலையை விவரிக்கும் குறுக்குவாட்டு இடப்பெயர்ச்சியான y யை x, t ஆகியவற்றின் சார்பனாக எழுதுக.

15.25 ஒரு நீர்மூழ்கியில் பொருத்திய ஒவவீயமைப்பு 40.0 kHz அலைவெண்ணில் செயலாற்றுகிறது. எதிரியின் நீர்மூழ்கி ஒவவீயைநோக்கி 360 km h^{-1} வேகத்தில் அசைகிறது. இந்த நீர்மூழ்கி எதிரொலிக்கும் ஒலியின் அலைவெண் என்ன? நீரில் ஒலியின் வேகத்தை 1450 m s^{-1} எனக்கொள்க.

15.26 நிலநடுக்கங்கள் நிலத்துள் ஒலியலைகளை உண்டாக்குகின்றன. வளிமங்களைப்போலல்லாமல், நிலம் குறுக்குவாட்டு ஒலியலைகளையும் நெடுக்கவாட்டு ஒலியலைகளையும் உணரலாம். பொதுவாக, குறுக்கலைகளின் வேகம் சுமார் 4.0 km s^{-1} ; நெடுக்கலைகளின் வேகம் 8.0 km s^{-1} . ஒரு நிலநடுக்கத்தின்போது இருவிதமான அலைகளையும் ஒரு நிலநடுக்கவரைவி பதிகிறது. முதல் நெடுக்கலை முதல் குறுக்கலைக்கு 4 நிமிடங்கள் முன்னதாக வருகிறது. அலைகள் நேர்க்கோட்டில் பயணிப்பதாக எடுகொண்டால், நிலநடுக்கம் நிகழ்ந்த தொலைவு என்ன?

15.27 ஒரு வெளவால் ஒரு குகையில் புறவொலியப்பீப்பொலிகளால் வழியறிந்து சிறகடிக்கிறது. அதன் ஒலியுமிழ்வு 40 kHz என்ற அலைவெண்ணில் இருக்கதாக கொள்க. ஒரு தட்டையான சுவரை நோக்கிய நேரான ஒரு விரைவுத்தாவலில் வெளவால் வளியில் ஒலியின் வேகத்தைப்போல் 0.03 மடங்கு வேகத்தில் அசைகிறது. வெளவால் சுவரிலிருந்து எதிரொலியை என்ன அலைவெண்ணில் கேட்கிறது?

