તબલાના કિસ્સાની જેમ વર્તુળાકાર પડદા (Membrane)ને તેના પરિઘ આગળથી જકડી દેતાં તેના નૉર્મલ મોડ્ઝ, પડદાના પરિઘ પરનું કોઈ બિંદુ કંપન કરતું નથી એવી સીમા શરત પરથી નક્કી થાય છે. આવા તંત્રના નૉર્મલ મોડ્ઝનો અંદાજ મેળવવો વધારે જટિલ છે. આ પ્રશ્નમાં દ્વિ-પરિમાણમાં થતું તરંગ-પ્રસરણ વિચારવાનું હોય છે. આમ છતાં, તેની પાછળનું ભૌતિકવિજ્ઞાન તો સમાન જ છે.

**ઉદાહરણ 15.5** 30.0 cm લંબાઈની એક નળી બને છેડે ખુલ્લી છે. 1.1 kHzના ઉદ્‌ગમ સાથે નળીની કઈ હાર્મોનિક મોડ અનુનાદ ઉત્પન્ન કરશે ? જો નળીનો એક છેડો બંધ કરવામાં આવે, તો તે જ ઉદ્‌ગમ સાથે અનુનાદ થતો જણાશે ? હવામાં ધ્વનિની ઝડપ 330 m $s^{-1}$ લો.

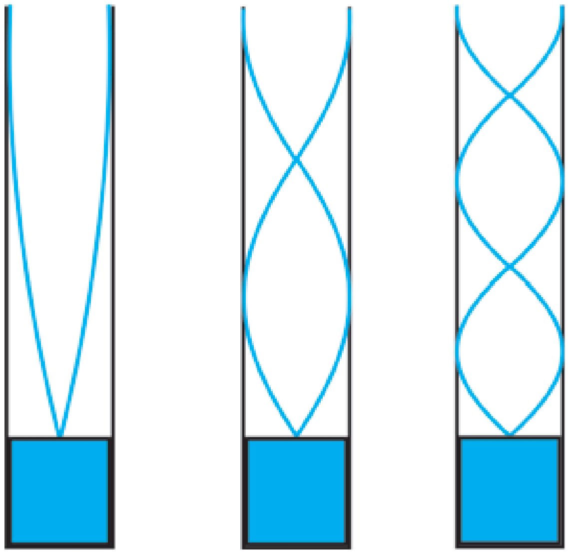
**ઉકેલ** પ્રથમ હાર્મોનિક આવૃત્તિ

$$\nu_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L} \text{ (ખુલ્લી નળી)}$$

પરથી મળે છે, જ્યાં $L$ નળીની લંબાઈ છે. તેની $n$-મી આવૃત્તિ

$$\nu_n = \frac{nv}{2L};\ n = 1, 2, 3, \ldots \text{ (ખુલ્લી નળી)}$$

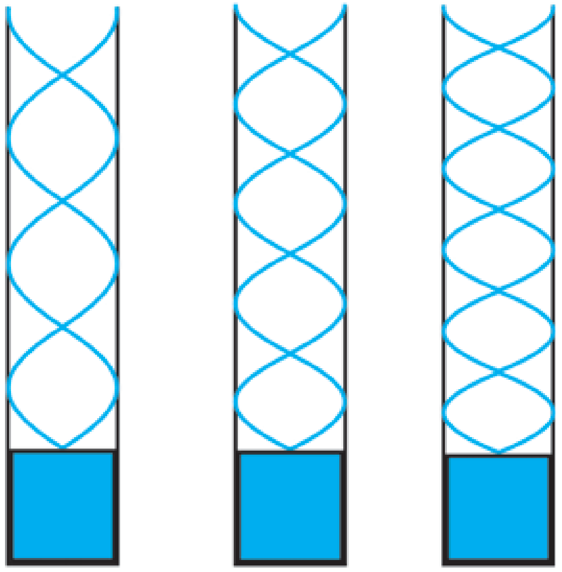
ખુલ્લી નળીના કેટલાક પ્રારંભિક મોડ્ઝ આકૃતિ 15.15માં દર્શાવ્યા છે.



(a) મૂળભૂત અથવા પ્રથમ હાર્મોમિક

(b) ત્રીજી હાર્મોનિક

(c) પાંચમી હાર્મોનિક



(d) સાતમી હાર્મોનિક

(e) નવમી હાર્મોનિક

(f) અગિયારમી હાર્મોનિક

*આકૃતિ 15.14 એક છેડે ખુલ્લી અને બીજે છેડે બંધ હવાના સ્તંભનાં નૉર્મલ મોડ્સ. ફક્ત એકી હાર્મોનિક શક્ય હોવાનું દેખાય છે.*

$L$ = 30.0 cm, $v$ = 330 m $s^{-1}$ માટે

$$\nu_n = \frac{n \times 330\ (\text{m s}^{-1})}{0.6(\text{m})} = 550n\ \text{s}^{-1}$$

હવે એ સ્પષ્ટ છે કે 1.1 kHzનું ઉદ્‌ગમ $\nu_2$ આવૃત્તિ એટલે કે **બીજા હાર્મોનિક** સાથે અનુનાદ કરશે.

હવે જો નળીનો એક છેડો બંધ કરવામાં આવે (આકૃતિ 15.14), તો સમીકરણ (15.44) પરથી, મૂળભૂત આવૃત્તિ

$$\nu_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{nv}{4L} \text{ (એક છેડે બંધ નળી)}$$

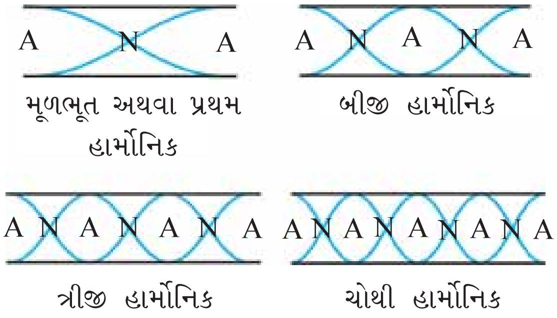
મળે છે અને ફક્ત એકી સંખ્યાના હાર્મોનિક્સ હાજર હોય છે :

$$\nu_3 = \frac{3v}{4L},\ \nu_5 = \frac{5v}{4L} \text{ વગેરે.}$$

$L$ = 30 cm અને $v$ = 330 m $s^{-1}$ માટે, એક છેડે બંધ નળી માટે મૂળભૂત આવૃત્તિ 275 Hz મળે છે અને ઉદ્‌ગમની આવૃત્તિ તેની ચતુર્થ હાર્મોનિક જેટલી છે. આ હાર્મોનિક એ દોલનનો શક્ય મોડ નથી તેથી એક છેડો બંધ કરાય કે તરત કોઈ અનુનાદ જણાતો નથી. ◀

## 15.7 સ્પંદ (BEATS)

'સ્પંદ' એ તરંગોના વ્યતીકરણથી ઉદ્‌ભવતી એક રસપ્રદ ઘટના છે. જ્યારે લગભગ નજીકની હોય (પણ સમાન ન હોય) તેવી




**આકૃતિ 15.15** *ખુલ્લી નળીમાં સ્થિત તરંગો. પ્રથમ ચાર હાર્મોનિક્સ દર્શાવેલ છે.*

આવૃત્તિના બે હાર્મોનિક ધ્વનિતરંગોને એક જ સમયે સાંભળવામાં આવે છે ત્યારે આપણે તેના જેવી (બે નજીકની આવૃત્તિની સરેરાશ) આવૃત્તિનો ધ્વનિ સાંભળીએ છીએ, પણ આ ઉપરાંત આપણને કંઈક બીજું પણ સંભળાય છે. આપણને ધ્વનિની તીવ્રતામાં ધીમે ધીમે વધારો અને ઘટાડો (મહત્તમ અને લઘુતમ) સ્પષ્ટ સંભળાય છે. આ ઘટના (સ્પંદ)ની આવૃત્તિ બે નજીકની આવૃત્તિઓના તફાવત જેટલી હોય છે. કલાકારો આ ઘટનાનો ઉપયોગ ઘણી વાર તેમનાં વાજિંત્રો એકબીજાં સાથે ટ્યૂન (સુમેળ) કરવા માટે કરે છે. તેઓ ત્યાં સુધી ટ્યૂન કરતાં જાય છે કે જ્યાં સુધી તેમના સંવેદી કાનમાં કોઈ સ્પંદ ન સંભળાય.

આ બાબતને ગણિતીય રીતે દૃશ્યમાન કરવા માટે લગભગ સરખી એવી કોણીય આવૃત્તિઓ $\omega_1$ અને $\omega_2$ ધરાવતા બે હાર્મોનિક ધ્વનિતરંગોનો વિચાર કરીએ અને સગવડતા ખાતર $x = 0$ને નિશ્ચિત સ્થાન તરીકે લઈએ. કળાની અનુકૂળ પસંદગી ($\phi = \pi/2$) કરીને અને કંપવિસ્તાર સમાન લઈને સમીકરણ (15.2) પરથી,

$s_1 = a \cos \omega_1 t$ અને $s_2 = a \cos \omega_2 t$ (15.45)

આપણે લંબગતને બદલે સંગત સ્થાનાંતરની વાત કરતા હોવાથી સંજ્ઞા $y$ને સ્થાને $s$ લીધેલ છે. ધારો કે આ બંનેમાં $\omega_1$ એ થોડીક મોટી આવૃત્તિ છે. સંપાતપણાના સિદ્ધાંત મુજબ પરિણામી સ્થાનાંતર,

$s = s_1 + s_2 = a (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$ છે.

cosA + cosB માટેના જાણીતા ત્રિકોણમિતીય સંબંધનો ઉપયોગ કરતાં,

$$s = 2\,a \cos\frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2}\,\cos\frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2} \qquad (15.46)$$

મળે છે, જેને $s = [2\,a \cos \omega_b t] \cos \omega_a t$ (15.47)

તરીકે લખી શકાય. જો $|\omega_1 - \omega_2| << \omega_1, \omega_2$ હોય, તો $\omega_a >> \omega_b$,

$$\text{જ્યાં, } \omega_b = \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{2} \text{ અને } \omega_a = \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2}$$

જો આપણે $|\omega_1 - \omega_2| << \omega_1$ ધારી લઈએ તો $\omega_a >> \omega_b$

### સંગીત-સ્તંભો

ઘણાં મંદિરોમાં સંગીતનાં વાજિંત્રો વગાડતાં માનવોને દર્શાવતાં સ્તંભો (Pillars) હોય છે, પરંતુ આ સ્તંભો ભાગ્યે જ પોતે સંગીત ઉત્પન્ન કરે છે. તમિલનાડુમાં નેલીઅપ્પાર મંદિરમાં ખડકના એક જ ટુકડામાંથી કોતરીને (Carved Out) બનાવેલા સ્તંભોના સમૂહ પર હળવા ટકોરા, ભારતીય શાસ્ત્રીય સંગીતના મૂળ સ્વરો – સા, રે, ગ, મ, પ, ધ, નિ, સા–ઉત્પન્ન કરે છે. આ સ્તંભોનાં દોલનો વપરાયેલ ખડકની સ્થિતિસ્થાપકતા, તેની ઘનતા અને આકાર પર આધાર રાખે છે.

સંગીત-સ્તંભો ત્રણ પ્રકારમાં વર્ગીકૃત કરાય છે : પ્રથમ પ્રકારને **શ્રુતિસ્તંભ** કહે છે. કારણ કે તે મૂળ **'સ્વરો'** ઉત્પન્ન કરી શકે છે. બીજા પ્રકારને **ગણ થુંગલ** કહે છે તે મૂળ સ્વરસમૂહો ઉત્પન્ન કરે છે, જેનાથી **'રાગ'** રચાય છે. ત્રીજો પ્રકાર એ **'લય થુંગલ'** સ્તંભો, જે ટકોરા મારતાં **'તાલ'** (સ્પંદ) ઉત્પન્ન કરે છે. નેલીઅપ્પાર મંદિરમાંના સ્તંભો શ્રુતિ અને લય પ્રકારનાં સંયોજન છે.

પુરાતત્ત્વવિદો નેલીઅપ્પાર મંદિર 7મી સદીનું હોવાનું અને પાંડિયન વંશના વારસદાર રાજવીઓએ બનાવ્યું હોવાનું જણાવે છે.

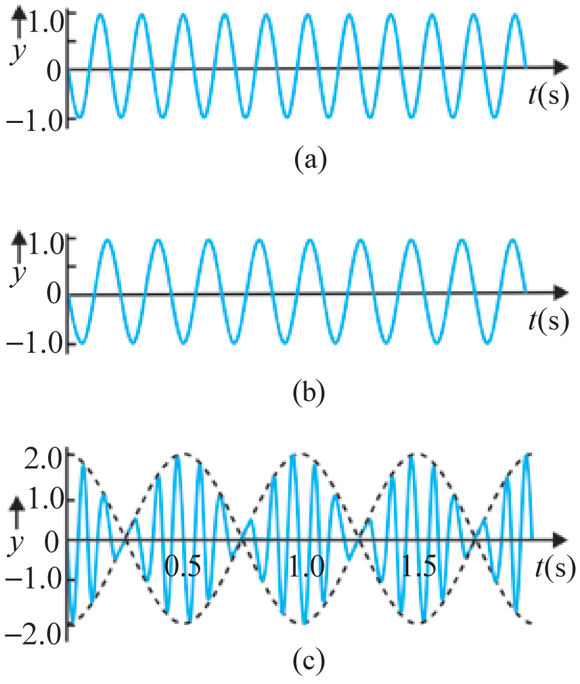
નેલીઅપ્પાર અને કન્યાકુમારીના હમ્પી (ચિત્ર) અને તિરુવનંતપુરમ્ જેવા દક્ષિણ ભારતનાં કેટલાંક મંદિરો આપણા દેશની વિશિષ્ટતા છે અને વિશ્વના કોઈ ભાગમાં આવું જણાતું નથી.

અને આપણે સમીકરણ (15.47)ને આ રીતે સમજી શકીએ : પરિણામી તરંગ સરેરાશ કોણીય આવૃત્તિ $\omega_a$થી દોલનો કરે છે, પરંતુ તેનો કંપવિસ્તાર સમય સાથે અચળ **નથી**, જે શુદ્ધ હાર્મોનિક તરંગમાં તો અચળ હોય છે. જ્યારે $\cos \omega_b t$ પદ તેની સીમાનાં મૂલ્ય +1 કે −1 પ્રાપ્ત કરે છે ત્યારે કંપવિસ્તાર મહત્તમ હોય છે. બીજા શબ્દોમાં પરિણામી તરંગની તીવ્રતા

$2\omega_b = \omega_1 - \omega_2$ થી વધે-ઘટે છે. જો કે $\omega = 2\pi\nu$ હોવાથી, સ્પંદની આવૃત્તિ

$\nu_{beat} = \nu_1 - \nu_2$ પરથી મળે છે. (15.48)

આકૃતિ 15.16, 11 Hz અને 9 Hz આવૃત્તિવાળા બે હાર્મોનિક તરંગો માટે સ્પંદની ઘટના દર્શાવે છે. પરિણામી તરંગનો કંપવિસ્તાર 2 Hzની આવૃત્તિથી સ્પંદ દર્શાવે છે.




**આકૃતિ 15.16** *11 Hz આવૃત્તિના (a) અને 9 Hz આવૃત્તિના (b) બે હાર્મોનિક તરંગોનું સંપાતીકરણ (c)માં દર્શાવ્યા મુજબ 2 Hzની આવૃત્તિનાં સ્પંદ ઉત્પન્ન કરે છે.*

**ખુલ્લી નળીમાં ધ્વનિનું પરાવર્તન**

ખુલ્લી નળીમાં જ્યારે કોઈ ઉચ્ચ દબાણનું સ્પંદન ગતિ કરીને બીજા છેડે પહોંચે ત્યારે તેનું વેગમાન હવાને બહાર ખુલ્લામાં ઘસડી જાય છે, જ્યાં દબાણ ઝડપથી ઘટીને વાતાવરણના દબાણ જેટલું બની જાય છે. પરિણામે તેની પાછળ આવતી હવા બહાર ધકેલાઈ જાય છે. નળીના છેડેનું ઓછું દબાણ નળીના હજી ઉપરના ભાગમાંની હવાને ખેંચે છે. હવા ખુલ્લા છેડા તરફ ખેંચાય છે તેથી લઘુ-દબાણનો વિસ્તાર ઉપર તરફ જાય છે. પરિણામે નળીમાં નીચે તરફ ગતિ કરતું ઉચ્ચ-દબાણની હવાનું સ્પંદન, ઉપર તરફ ગતિ કરતા લઘુ-દબાણની હવાના સ્પંદનમાં રૂપાંતર પામે છે. આને આપણે એમ કહીએ કે, દબાણ તરંગ ખુલ્લા છેડા પાસેથી $180^o$ની કળાના ફેરફાર સાથે પરાવર્તન થયું છે. વાંસળી જેવા ખુલ્લી નળીનાં વાજિંત્રોમાં સ્થિત તરંગ આ ઘટનાનું પરિણામ છે.

ઉચ્ચ-દબાણની હવાનું સ્પંદન જ્યારે બંધ છેડે આવે ત્યારે શું થાય છે તેની સાથે આ બાબતની સરખામણી કરો : તે અથડાય છે અને પરિણામે હવાને પાછી વિરુદ્ધ દિશામાં ધકેલે છે. બીજા શબ્દોમાં આને આપણે એમ કહીએ કે દબાણ તરંગકળાના કોઈ ફેરફાર વિના પરાવર્તન થયું છે.

▶ *ઉદાહરણ 15.6* બે સિતારના તાર A અને B સ્વર 'ધ' ઉત્પન્ન કરવા દરમિયાન સહેજ જુદા પડીને 5 Hzની આવૃત્તિના સ્પંદ ઉત્પન્ન કરે છે. B તારમાં તણાવ સહેજ વધારતાં સ્પંદની આવૃત્તિ ઘટીને 3 Hz થાય છે. જો Aની આવૃત્તિ 427 Hz હોય, તો Bની મૂળ આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

*ઉકેલ* તારમાં તણાવ વધારતાં તેની આવૃત્તિ વધે છે. જો B તારની મૂળ આવૃત્તિ ($\nu_B$), A તારની આવૃત્તિ ($\nu_A$) કરતાં મોટી હોય, તો $\nu_B$માં હજી વધારો થતાં સ્પંદની આવૃત્તિમાં વધારો થાત. પરંતુ સ્પંદની આવૃત્તિ ઘટેલી જણાય છે. આ દર્શાવે છે કે $\nu_B < \nu_A$, $\nu_A - \nu_B = 5$ Hz અને $\nu_A = 427$ Hz હોવાથી $\nu_B = 422$ Hz મળે. ◀

## 15.8 ડૉપ્લર અસર (DOPPLER EFFECT)

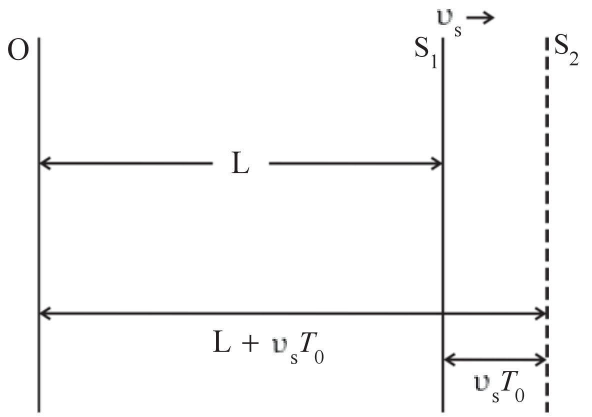
આપણો એ રોજિંદો અનુભવ છે કે ઝડપથી ગતિ કરતી ટ્રેન જ્યારે આપણાથી દૂર જતી હોય ત્યારે તેની સિસોટી (Whistle)નો સ્વર (કે આવૃત્તિ) ઘટતો જણાય છે. જ્યારે આપણે કોઈ સ્થિર એવા ધ્વનિઉદ્‌ગમની તરફ બહુ ઝડપથી જઈએ તો સંભળાતા ધ્વનિનો સ્વર (કે આવૃત્તિ) ઉદ્‌ગમના ધ્વનિની આવૃત્તિ કરતાં વધુ જણાય છે. જ્યારે સાંભળનાર ઉદ્‌ગમથી દૂર તરફ જાય છે ત્યારે સંભળાતા ધ્વનિનો સ્વર ઉદ્‌ગમના ધ્વનિના સ્વર કરતાં નીચો એટલે કે સંભળાતા ધ્વનિની આવૃત્તિ ઉદ્‌ગમના ધ્વનિની આવૃત્તિ કરતાં ઓછી જણાય છે. ગતિ સાથે સંબંધિત આવૃત્તિનો ફેરફાર થવાની ઘટનાને **ડૉપ્લર અસર** કહે છે. ઑસ્ટ્રિયન ભૌતિકવિજ્ઞાની જૉહ્‌ન ક્રિશ્ચિયન ડૉપ્લર દ્વારા સૌપ્રથમ આ ઘટનાની 1842માં રજૂઆત કરવામાં આવી. 1845માં હૉલેન્ડમાં બાયસ બેલટ (Buys Ballot) દ્વારા તેની પ્રાયોગિક ચકાસણી થઈ હતી. ડૉપ્લર અસર એ તરંગ ઘટના છે, તે માત્ર ધ્વનિતરંગો જ નહિ પણ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો માટે પણ સત્ય છે. જોકે આપણે અહીં માત્ર ધ્વનિતરંગોનો વિચાર કરીશું.

આપણે આવૃત્તિના ફેરફારનું વિશ્લેષણ ત્રણ પરિસ્થિતિમાં કરીશું : (1) નિરીક્ષક સ્થિર અને ઉદ્‌ગમ ગતિમાં હોય

(2) નિરીક્ષક ગતિમાં હોય અને ઉદ્ગમ સ્થિર હોય અને (3) નિરીક્ષક અને ઉદ્ગમ બંને ગતિમાં હોય. (1) અને (2)માંની પરિસ્થિતિ એકબીજાથી જુદી પડવાનું કારણ નિરીક્ષક અને માધ્યમની વચ્ચે સાપેક્ષ ગતિ હોવી કે ન હોવી તે છે. મોટા ભાગનાં તરંગોને પ્રસરણ માટે માધ્યમની જરૂર હોય છે પરંતુ વિદ્યુતચુંબકીય તરંગોને પ્રસરણ માટે માધ્યમની જરૂર નથી. જો કોઈ માધ્યમ હાજર ન હોય તો, ઉદ્ગમ ગતિ કરતું હોય કે નિરીક્ષક ગતિ કરતો હોય તે બંનેમાં ડૉપ્લર શિફ્ટ (સ્થાનાંતર, ફેરફાર) એક સમાન હોય છે કારણ કે આ બે પરિસ્થિતિઓ વચ્ચે કોઈ ભેદ નથી.

### 15.8.1 ગતિમાન ઉદ્ગમ, સ્થિર નિરીક્ષક (Source moving; Observer Stationary)

**આપણે એક રૂઢિ તરીકે નિરીક્ષકથી ઉદ્ગમ તરફની દિશાને ધન દિશા તરીકે લઈશું.** એક ધ્વનિ-ઉદ્ગમ $v_s$ જેટલા વેગથી ગતિ કરતું હોય અને જે નિર્દેશ ફ્રેમમાં માધ્યમ સ્થિર હોય તે જ નિર્દેશ ફ્રેમમાં નિરીક્ષક પણ સ્થિર હોય તેનો વિચાર કરો. ધારો કે માધ્યમની સાપેક્ષે સ્થિર એવા નિરીક્ષકે માપેલી કોણીય આવૃત્તિ $\omega$ અને આવર્તકાળ $T_0$ ધરાવતા તરંગની ઝડપ $\upsilon$ છે. આપણે એવું ધારી લઈએ કે, નિરીક્ષક પાસે એવું પરખયંત્ર (Detector) છે જે તરંગનું શૃંગ તેની પાસે પહોંચે ત્યારે તેને નોંધે છે. આકૃતિ 15.17માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે, $t = 0$ સમયે ઉદ્ગમ, નિરીક્ષકથી $L$ અંતરે આવેલા બિંદુ $S_1$ પર છે અને એક શૃંગને ઉત્પન્ન કરે છે. આ શૃંગ નિરીક્ષક પાસે $t_1 = L/\upsilon$ સમયે પહોંચે છે. $t = T_0$ સમયે ઉદ્ગમ $\upsilon_s T_0$ અંતર કાપીને નિરીક્ષકથી $L + \upsilon_s T_0$ અંતરે આવેલા $S_2$ બિંદુ પર પહોંચે છે. $S_2$ બિંદુએ ઉદ્ગમ બીજું શૃંગ ઉત્પન્ન કરે છે.




*આકૃતિ 15.17 જ્યારે માધ્યમમાં ઉદ્ગમ ગતિ કરતું હોય અને નિરીક્ષક સ્થિર હોય ત્યારે અનુભવાતી ડૉપ્લર અસર (તરંગની આવૃત્તિમાં થતો ફેરફાર)*

આ શૃંગ, નિરીક્ષકને $t_2 = T_0 + \dfrac{(L+\upsilon_s T_0)}{\upsilon}$ સમયે પહોંચે છે.

આ પ્રમાણે $nT_0$ સમયે, ઉદ્ગમ $(n + 1)$મું શૃંગ ઉત્પન્ન કરે છે અને તે શૃંગ નિરીક્ષકને

$t_{n+1} = nT_0 + \dfrac{(L+n\,\upsilon_s T_0)}{\upsilon}$ સમયે પહોંચે છે. આથી,

$$\left[nT_0 + \frac{(L+n\,\upsilon_s T_0)}{\upsilon} - \frac{L}{\upsilon}\right]$$

જેટલા સમયગાળામાં નિરીક્ષકના ડિટેક્ટરે $n$ શૃંગ ગણેલા છે અને નિરીક્ષક તરંગનો આવર્તકાળ $T$

$$T = \left[nT_0 + \frac{(L+n\,\upsilon_s T_0)}{\upsilon} - \frac{L}{\upsilon}\right] / n$$ નોંધે છે.

$$T = T_0 + \frac{\upsilon_s T_0}{\upsilon}$$

$$= T_0\left(1+\frac{\upsilon_s}{\upsilon}\right) \tag{15.49}$$

જ્યારે ઉદ્ગમ અને નિરીક્ષક બંને સ્થિર હોય ત્યારે મપાયેલ આવૃત્તિ $\nu_0$ અને જ્યારે ઉદ્ગમ ગતિ કરતું હોય ત્યારે મપાયેલ આવૃત્તિ $\nu$ના પદમાં સમીકરણ (15.49)ને ફરીથી નીચે મુજબ લખી શકાય :

$$\nu = \nu_0\left(1+\frac{\upsilon_s}{\upsilon}\right)^{-1} \tag{15.50}$$

તરંગની ઝડપ $\upsilon$ની સરખામણીએ જો $\upsilon_s$નું મૂલ્ય નાનું હોય, તો $\upsilon_s/\upsilon$ના પ્રથમ ક્રમના પદમાં દ્વિપદી વિસ્તરણ લેતાં અને ઊંચી ઘાતનાં પદોને અવગણતાં સમીકરણ (15.50)ને સંનિકટ રીતે આમ લખી શકાય :

$$\nu = \nu_0\left(1-\frac{\upsilon_s}{\upsilon}\right) \tag{15.51}$$

જો ઉદ્ગમ નિરીક્ષક તરફ જઈ રહ્યું હોય, તો $\upsilon_s$ને સ્થાને $-\upsilon_s$ મૂકતાં,

$$\nu = \nu_0\left(1+\frac{\upsilon_s}{\upsilon}\right) \tag{15.52}$$

આમ, જ્યારે ઉદ્ગમ નિરીક્ષકથી દૂર જાય છે ત્યારે તે સ્થિર હોય ત્યારે માપેલ આવૃત્તિ કરતાં ઓછી આવૃત્તિ માપે છે. જ્યારે ઉદ્ગમ તેની તરફ આવી રહ્યું હોય ત્યારે વધુ આવૃત્તિ માપે છે.

### 15.8.2 ગતિમાન નિરીક્ષક, સ્થિર ઉદ્ગમ (Observer Moving; Source Stationary)

હવે, જ્યારે નિરીક્ષક $\upsilon_0$ જેટલા વેગથી ઉદ્ગમ તરફ ગતિ કરતો હોય અને ઉદ્ગમ સ્થિર હોય ત્યારે ડૉપ્લર શિફ્ટ

મેળવવા માટે આપણે જુદી રીતે આગળ વધીશું. આપણે ગતિમાન નિરીક્ષકની નિર્દેશ ફ્રેમમાં કાર્ય કરીશું. આ નિર્દેશ ફ્રેમમાં ઉદ્‌ગમ અને માધ્યમ $\upsilon_0$ વેગથી તેની નજીક આવી રહ્યાં છે અને તરંગો તો $\upsilon_0 + \upsilon$ વેગથી નજીક આવી રહ્યાં છે. અગાઉના કિસ્સા જેવી પદ્ધતિ અપનાવતાં પ્રથમ અને $(n + 1)$મા શૃંગના આગમન વચ્ચેનો સમયગાળો

$$t_{n+1} - t_1 = nT_0 - \frac{n\upsilon_0 T_0}{\upsilon_0 + \upsilon} \text{ છે.}$$

આમ, નિરીક્ષક દ્વારા મપાયેલ તરંગનો આવર્તકાળ

$$= T_0\left(1 - \frac{\upsilon_0}{\upsilon_0 + \upsilon}\right)$$

$$= T_0\left(1 + \frac{\upsilon_0}{\upsilon}\right)^{-1} \text{ મપાય છે.}$$

આ પરથી, $$\nu = \nu_0\left(1 + \frac{\upsilon_0}{\upsilon}\right) \qquad (15.53)$$

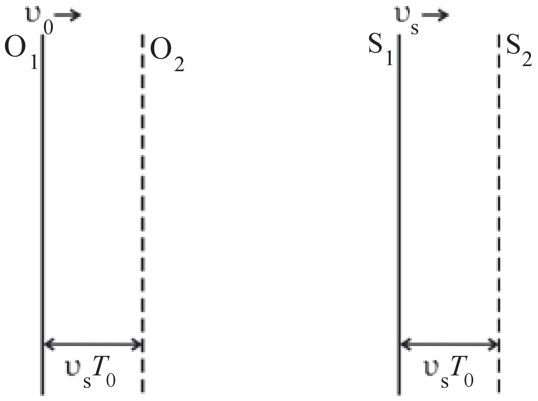
જો $\frac{\upsilon_0}{\upsilon}$ નાનું હોય તો સમાન વેગથી નિરીક્ષક ગતિ કરે કે ઉદ્‌ગમ ગતિ કરે તે બંને કિસ્સામાં ડૉપ્લર શિફ્ટ $(\nu - \nu_0)$નું મૂલ્ય સમાન જ મળશે, કેમ કે સમીકરણ (15.53) અને સંનિકટ સંબંધ દર્શાવતા સમીકરણ (15.52)માં $(\nu - \nu_0)$ સમાન થશે.

જો નિરીક્ષક $\upsilon_0$ વેગથી ઉદ્‌ગમથી દૂર જતો હોય, તો સમીકરણ (15.53)માં $\upsilon_0$ને સ્થાને $-\upsilon_0$ મૂકતાં,

$$\nu = \nu_0\left(1 - \frac{\upsilon_0}{\upsilon}\right) \text{ મળે છે.}$$

### 15.8.3 ઉદ્‌ગમ અને નિરીક્ષક બંને ગતિમાં (Both Source and Observer Moving)

હવે આપણે ઉદ્‌ગમ અને નિરીક્ષક બંને ગતિમાં હોય તેવા કિસ્સા માટે વ્યાપક સમીકરણ મેળવીશું. અગાઉની જેમ નિરીક્ષકથી ઉદ્‌ગમ તરફની દિશાને ધન દિશા ગણીશું. આકૃતિ 15.18માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ધારો કે ઉદ્‌ગમ અને નિરીક્ષક અનુક્રમે $\upsilon_s$ અને $\upsilon_0$ વેગથી ગતિ કરે છે. ધારો કે $t = 0$ માટે નિરીક્ષક $O_1$ અને ઉદ્‌ગમ $S_1$ આગળ છે. ઉદ્‌ગમ તરંગવેગ $\upsilon$, આવૃત્તિ $\nu$ અને આવર્તકાળ $T_0$ ધરાવતું એક તરંગ ઉત્પન્ન કરે છે. આ બધાં મૂલ્યો નિરીક્ષક માધ્યમની સાપેક્ષે સ્થિર હોય ત્યારે તેણે માપેલાં મૂલ્યો છે. $t = 0$ સમયે $O_1$ અને $S_1$ વચ્ચેનું અંતર $L$ છે અને ત્યારે ઉદ્‌ગમ પ્રથમ શૃંગ ઉત્પન્ન કરે છે. અહીં નિરીક્ષક ગતિમાં હોવાથી; અહીં નિરીક્ષકની સાપેક્ષે તરંગનો વેગ $\upsilon + \upsilon_0$ છે. આથી, પ્રથમ શૃંગ, નિરીક્ષક પાસે $t_1 = L/(\upsilon + \upsilon_0)$ સમયે પહોંચે છે. $t = T_0$ સમયે નિરીક્ષક અને ઉદ્‌ગમ તેમનાં નવાં સ્થાનો અનુક્રમે $O_2$ અને $S_2$ આગળ પહોંચે છે. નિરીક્ષક અને ઉદ્‌ગમ વચ્ચેનું નવું અંતર $O_2S_2$, $L + (\upsilon_s - \upsilon_0)T_0$ જેટલું છે. $S_2$ આગળ ઉદ્‌ગમ બીજા શૃંગનું ઉત્સર્જન કરે છે.




*આકૃતિ* **15.18** *ઉદ્‌ગમ અને નિરીક્ષક બંને જુદા વેગથી ગતિ કરતા હોય ત્યારે ડૉપ્લર અસર*

**ડૉપ્લર અસરના ઉપયોગ**

ગતિમાન પદાર્થ દ્વારા ડૉપ્લર અસરને લીધે આવૃત્તિમાં થતા ફેરફાર વડે તેનો (પદાર્થનો) વેગ માપવા માટે વિવિધ ક્ષેત્રોમાં ઉપયોગ થાય છે. જેવા કે લશ્કરી, તબીબી વિજ્ઞાન, ખગોળીય-ભૌતિકવિજ્ઞાન વગેરે. તે વાહનોની Over-Speed ચકાસવા માટે પણ થાય છે.

જ્ઞાત આવૃત્તિનું એક ધ્વનિતરંગ કે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગ ગતિમાન પદાર્થ તરફ મોકલવામાં આવે છે. તરંગનો કેટલોક ભાગ પદાર્થ દ્વારા પરાવર્તિત થાય છે અને તેની આવૃત્તિ મોનિટરિંગ સ્ટેશન દ્વારા મપાય છે. આવૃત્તિમાં જણાતા ફેરફારને **ડૉપ્લર શિફ્ટ** કહે છે.

વિમાનીમથક પર વિમાનને માર્ગદર્શન (સૂચના) આપવા માટે અને લશ્કરમાં દુશ્મનના વિમાનની પરખ કરવા માટે તેનો ઉપયોગ થાય છે. ખગોળ-ભૌતિક વેત્તાઓ તેનો ઉપયોગ તારાઓના વેગ માપવા માટે કરે છે.

તબીબો તેનો ઉપયોગ હૃદયના ધબકાર અને શરીરના વિવિધ ભાગોમાં રક્તવહનના અભ્યાસ માટે કરે છે. અહીં તેઓ અલ્ટ્રાસોનિક (પરા શ્રાવ્ય) તરંગો વાપરે છે અને તેને સામાન્ય વ્યવહારમાં **સોનોગ્રાફી** કહે છે. અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો વ્યક્તિના શરીરમાં દાખલ થાય છે તેમાંથી કેટલાક પાછા પરાવર્તિત થાય છે અને રક્તની ગતિ અને હૃદયના વાલ્વના ધબકાર તેમજ ગર્ભમાંના બાળકના હૃદયના ધબકાર વગેરેની માહિતી આપે છે. હૃદયના કિસ્સામાં જે ચિત્ર ઉપજાવવામાં આવે છે તેને **ઈકોકાર્ડિયોગ્રામ** કહે છે.

આ બીજું શૃંગ નિરીક્ષકને $t_2 = T_0 + [L + (\upsilon_s - \upsilon_0)T_0]/(\upsilon + \upsilon_0)$ સમયે પહોંચે છે. $nT_0$ સમયે ઉદ્‌ગમ $(n + 1)$ મું શૃંગ ઉત્પન્ન કરે છે અને તે નિરીક્ષકને

$$t_{n+1} = nT_0 + \frac{L + n(\upsilon_s - \upsilon_0)T_0}{\upsilon + \upsilon_0}$$ સમયે પહોંચે છે.

આથી નિરીક્ષક $n$-શૃંગની ગણતરી $t_{n+1} - t_n$ સમય અંતરાલમાં કરે છે જ્યાં

$$t_{n+1} - t_n = nT_0 + \frac{L + n(\upsilon_s - \upsilon_0)T_0}{\upsilon + \upsilon_0} - \frac{L}{\upsilon + \upsilon_0}$$ છે.

આથી નિરીક્ષક તરંગનો આવર્તકાળ T નીચે મુજબ માપે છે :

$$T = T_0\left(1 + \frac{\upsilon_s - \upsilon_0}{\upsilon + \upsilon_0}\right) = T_0\left(\frac{\upsilon + \upsilon_s}{\upsilon + \upsilon_0}\right) \qquad (15.54)$$

આથી, નિરીક્ષકને જણાતી આવૃત્તિ

$$\nu = \nu_0\left(\frac{\upsilon + \upsilon_0}{\upsilon + \upsilon_s}\right) \qquad (15.55)$$

એક સીધા ટ્રેક પર ગતિ કરતી ટ્રેનમાં બેસેલા એક મુસાફરનો વિચાર કરો. ધારો કે તે ટ્રેનના ડ્રાયવરે વગાડેલી સીસોટી (વ્હીસલ) સાંભળે છે. તેને કેટલી આવૃત્તિનો ધ્વનિ સંભળાશે ? અત્રે ઉદ્‌ગમ અને નિરીક્ષક બંને એક જ સરખા વેગથી ગતિ કરી રહ્યા છે, આથી આવૃત્તિમાં કંઈ જ ફેરફાર (Shift) જણાશે નહિ અને મુસાફર તે મૂળ (પ્રાકૃતિક) આવૃત્તિ જ નોંધશે. પણ બહાર રહેલો નિરીક્ષક કે જે ટ્રેકની સાપેક્ષે સ્થિર છે તે, જો ટ્રેન તેની તરફ આવતી હશે તો વધારે આવૃત્તિ અને તેનાથી દૂર જતી હોય તો ઓછી આવૃત્તિ નોંધશે.

બરાબર ધ્યાન રાખો કે આપણે નિરીક્ષકથી ઉદ્‌ગમ તરફની દિશાને ધન દિશા તરીકે ગણી છે. તેથી જો નિરીક્ષક, ઉદ્‌ગમ તરફ ગતિ કરતો હોય તો $\upsilon_0$નું મૂલ્ય ધન(સંખ્યાત્મક) છે, પણ જો ઉદ્‌ગમથી દૂર જતો હોય તો $\upsilon_0$નું મૂલ્ય ઋણ છે. બીજી બાજુ જો S, O થી દૂર જતું હોય તો $\upsilon_s$ ધન છે અને જો તે O તરફ જતું હોય તો $\upsilon_s$ ઋણ છે. ઉદ્‌ગમથી ઉત્પન્ન થયેલો ધ્વનિ બધી દિશાઓમાં પ્રસરે છે. તેમાંનો જે ભાગ નિરીક્ષક તરફ આવે છે તે ભાગને નિરીક્ષક પ્રાપ્ત કરે છે અને પરખે (detects) છે. તેથી નિરીક્ષકની સાપેક્ષે ધ્વનિનો વેગ બધા કિસ્સામાં $\upsilon + \upsilon_0$ છે.

**ઉદાહરણ 15.7** એક સ્થિર લક્ષ્ય તરફ 200 m s$^{-1}$ની ઝડપથી એક રૉકેટ ગતિ કરી રહ્યું છે. ગતિ દરમ્યાન તે 1000 Hz આવૃત્તિ ધ્વનિ તરંગ ઉત્પન્ન કરે છે. લક્ષ્ય પર પહોંચેલા ધ્વનિમાંથી થોડો ભાગ પડઘા તરીકે પાછો રૉકેટ તરફ પરાવર્તિત થાય છે. (1) લક્ષ્ય દ્વારા પરખાયેલ (Detected) ધ્વનિની આવૃત્તિ અને (2) રૉકેટ દ્વારા પરખાયેલ પડઘાની આવૃત્તિ શોધો.

**ઉકેલ** (1) નિરિક્ષક સ્થિર છે અને ઉદ્‌ગમ 200 m s$^{-1}$ની ઝડપથી ગતિ કરે છે. આ ઝડપ ધ્વનિની ઝડપ સાથે સરખાવી શકાય તેવી હોવાથી આપણે સંનિકટ સમીકરણ (15.51) વાપરવું જોઈએ નહિ પણ સમીકરણ (15.50) વાપરવું જોઈએ. ઉદ્‌ગમ, સ્થિર લક્ષ્ય તરફ ગતિ કરતું હોવાથી $\upsilon_0 = 0$ અને $\upsilon_s$ને સ્થાને $-\upsilon_s$ મૂકવું જોઈએ. આથી

$$\nu = \nu_0\left(1 - \frac{\upsilon_s}{\upsilon}\right)^{-1}$$

$$\nu = 1000\ \text{Hz} \times [1 - 200\ \text{m s}^{-1} / 330\ \text{m s}^{-1}]^{-1}$$

$$\simeq 2540\ \text{Hz}$$

(2) લક્ષ્ય હવે ઉદ્‌ગમ બને છે (કારણ કે તે પડઘાનું ઉદ્‌ગમ છે) અને રૉકેટનું ડીટેક્ટર હવે નિરિક્ષક કે ડીટેક્ટર છે. આમ, $\upsilon_s = 0$ અને $\upsilon_0$ ધન મૂલ્ય છે.

ઉદ્‌ગમ (લક્ષ્ય)માંથી ઉત્સર્જિત ધ્વનિની આવૃત્તિ $\nu_0$ નથી પણ $\nu$ છે જે લક્ષ્ય દ્વારા અધવચ્ચે પ્રાપ્ત થાય છે. આથી રૉકેટ દ્વારા નોંધાતી આવૃત્તિ

$$\nu' = \nu\left(\frac{\upsilon + \upsilon_0}{\upsilon}\right)$$

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

$$\simeq 4080\ \text{Hz}$$

## સારાંશ

1. યાંત્રિક તરંગો દ્રવ્ય માધ્યમમાં અસ્તિત્વ ધરાવી શકે છે અને ન્યૂટનના નિયમોથી સંચાલિત થાય છે.
2. લંબગત તરંગો એવાં તરંગો છે કે જેમાં માધ્યમના કણો તરંગની પ્રસરણ દિશાને લંબ દોલનો કરે છે.
3. સંગત તરંગો એવાં તરંગો છે કે જેમાં માધ્યમના કણો તરંગની પ્રસરણ દિશાને સમાંતર દોલનો કરે છે.
4. પ્રગામી તરંગ એ એવું તરંગ છે કે, જે માધ્યમના એક બિંદુથી બીજા બિંદુ સુધી ગતિ કરે છે.
5. ધન $x$-દિશામાં ગતિ કરતા પ્રગામી Sinusoidal (sine આકારનું) તરંગનું સ્થાનાંતર

$$y(x, t) = a \sin (kx - \omega t + \phi)$$

પરથી મળે છે, જ્યાં $a$ તરંગનો કંપવિસ્તાર છે, $k$ કોણીય તરંગસંખ્યા છે, $\omega$ કોણીય આવૃત્તિ છે, $(kx - \omega t + \phi)$ એ કળા છે અને $\phi$ એ કળા અચળાંક છે.

6. પ્રગામી તરંગની તરંગલંબાઈ $\lambda$ એ આપેલા સમયે સમાન કળાવાળાં બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર છે. સ્થિત તરંગમાં બે ક્રમિક નિષ્પંદ બિંદુઓ કે બે ક્રમિક પ્રસ્પંદ બિંદુઓ વચ્ચેના અંતરનું બમણું (Twice) છે.
7. તરંગના દોલનોના આવર્તકાળ $T$ને માધ્યમના કોઈ ખંડ (Element)ને એક પૂર્ણ દોલન કરવા માટે લાગતા સમય તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે. તે કોણીય આવૃત્તિ $\omega$ સાથે નીચેનાં સમીકરણ વડે સંકળાયેલ છે.

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

8. તરંગની આવૃત્તિ $\nu$ને $1/T$ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે અને કોણીય આવૃત્તિ સાથે તેનો સંબંધ

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}$$ છે.

9. પ્રગામી તરંગની ઝડપ $\upsilon = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$ પરથી મળે છે.
10. તણાવવાળી દોરીમાં લંબગત તરંગની ઝડપ દોરીના ગુણધર્મો વડે નક્કી થાય છે. તણાવ $T$ અને રેખીય દળ ઘનતા $\mu$ ધરાવતી દોરીમાં તેની ઝડપ

$$\upsilon = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$ છે.

11. ધ્વનિતરંગો એ સંગત યાંત્રિક તરંગો છે જેઓ ઘન, પ્રવાહી કે વાયુમાંથી ગતિ કરી શકે છે.

બલ્ક મોડ્યૂલસ $B$ અને ઘનતા $\rho$ ધરાવતાં તરલમાં ધ્વનિતરંગની ઝડપ

$$\upsilon = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

ધાતુની પટ્ટીમાં સંગત તરંગની ઝડપ

$$\upsilon = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

વાયુઓ માટે $B = \gamma P$ હોવાથી, ધ્વનિની ઝડપ

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

**12.** જ્યારે બે કે વધુ તરંગો એક જ માધ્યમમાં ગતિ કરીને સંપાત થાય ત્યારે, માધ્યમના તે ખંડનું સ્થાનાંતર દરેક તરંગથી થતા સ્થાનાંતરોના બૈજિક સરવાળા જેટલું હોય છે. આને તરંગોના સંપાતીકરણનો સિદ્ધાંત કહે છે.

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

**13.** એક જ દોરી પર બે Sinusoidal તરંગો વ્યતીકરણ દર્શાવે છે. સંપાતપણાના સિદ્ધાંત મુજબ તેઓ ઉમેરાય છે કે નાબૂદ થાય છે. જો તે બે તરંગોને સમાન કંપવિસ્તાર $a$ અને આવૃત્તિ હોય અને એક જ દિશામાં ગતિ કરતા હોય, પણ કળામાં કળા-અચળાંક $\phi$ જેટલો તફાવત હોય, તો પરિણામ તેટલી જ આવૃત્તિ $\omega$ ધરાવતો એક જ તરંગ

$$y(x, t) = \left[2a \cos\frac{1}{2}\phi\right] \sin\left[kx - \omega t + \frac{1}{2}\phi\right] \text{ મળે છે.}$$

જો $\phi = 0$ અથવા $2\pi$નો પૂર્ણાંક ગુણાંક હોય તો તરંગો બરાબર કળામાં હોય છે અને વ્યતીકરણ સહાયક પ્રકારનું મળે છે; જો $\phi = \pi$ હોય, તો બરાબર વિરુદ્ધ કળામાં અને વ્યતીકરણ વિનાશક પ્રકારનું મળે છે.

**14.** પ્રગામી તરંગનું પરાવર્તન દૃઢ સીમા અથવા બંધ છેડેથી થાય છે ત્યારે કળા ઊલટાઈ જાય છે. પરંતુ ખુલ્લા છેડાથી પરાવર્તન થાય તો કળામાં કોઈ ફેરફાર થતો નથી.

આપાત તરંગ

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

દૃઢ સીમા પરથી પરાવર્તિત તરંગ

$$y_r(x, t) = -a \sin(kx + \omega t) \text{ અને}$$

ખુલ્લા છેડેથી પરાવર્તિત તરંગ

$$y_r(x, t) = a \sin(kx + \omega t) \text{ મળે છે.}$$

**15.** એક સમાન હોય તેવા અને વિરુદ્ધ દિશામાં ગતિ કરતાં બે તરંગોનું વ્યતીકરણ સ્થિત તરંગો ઊપજાવે છે. જડિત છેડાઓ ધરાવતી તણાવવાળી દોરી માટે સ્થિત તરંગ $y(x, t) = (2a \sin kx) \cos \omega t$ વડે અપાય છે.

સ્થિત તરંગોના લક્ષણ તરીકે નિષ્પંદ બિંદુઓ તરીકે ઓળખાતાં શૂન્ય સ્થાનાંતરનાં નિશ્ચિત સ્થાનો અને પ્રસ્પંદ બિંદુઓ તરીકે ઓળખાતા મહત્તમ સ્થાનાંતર ધરાવતાં નિશ્ચિત સ્થાનો છે. બે ક્રમિક નિષ્પંદ બિંદુઓ કે બે ક્રમિક પ્રસ્પંદ બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર $\lambda/2$ છે.

બંને છેડે જડિત, $L$ લંબાઈની તણાવવાળી દોરી

$$\nu = \frac{1}{2}\ \frac{\upsilon}{2L},\ n = 1, 2, 3, \ldots$$

વડે મળતી આવૃત્તિઓથી દોલનો કરે છે. આ સંબંધ પરથી મળતી આવૃત્તિઓનો સમૂહ તંત્રના દોલનનાં નૉર્મલ મોડ્ઝ કહેવાય છે. લઘુતમ આવૃત્તિના દોલન મોડને મૂળભૂત મોડ અથવા પ્રથમ હાર્મોનિક કહે છે. બીજી હાર્મોનિક $n = 2$થી મળે છે અને એ પ્રમાણે આગળ અન્ય હાર્મોનિક મળે છે. એક છેડે ખુલ્લી અને બીજે છેડે બંધ $L$ લંબાઈની નળીમાંનો હવાનો સ્તંભ

$$\nu = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\upsilon}{2L},\ n = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

વડે મળતી આવૃત્તિઓથી દોલનો કરે છે. આ સંબંધ દ્વારા મળતી આવૃત્તિઓનો સમૂહ આ તંત્રના દોલનના નૉર્મલ મોડ્ઝ છે. લઘુતમ આવૃત્તિ $\upsilon/4L$ છે અને તે મૂળભૂત મોડ અથવા પ્રથમ હાર્મોનિક છે.

**16.** બંને છેડે જડિત $L$ લંબાઈની દોરી કે એક છેડે બંધ અને બીજે છેડે ખુલ્લો હવાનો સ્તંભ જે આવૃત્તિઓથી દોલનો કરે છે તેમને તેના નૉર્મલ મોડ્ઝ કહે છે. આમાંની દરેક આવૃત્તિ તંત્રની અનુનાદ આવૃત્તિ છે.

**17.** એકબીજાથી થોડીક જુદી આવૃત્તિઓ $\nu_1$ અને $\nu_2$, તેમજ સરખાવી શકાય તેવા કંપવિસ્તાર ધરાવતા બે તરંગો જ્યારે સંપાત થાય છે ત્યારે સ્પંદ ઉત્પન્ન થાય છે. સ્પંદની આવૃત્તિ

$$\nu_{beat} = \nu_1 \sim \nu_2$$

**18.** જ્યારે ઉદ્ગમ અને નિરીક્ષક O બંને માધ્યમની અને એકબીજાની સાપેક્ષે ગતિમાં હોય ત્યારે તરંગની આવૃત્તિમાં ફેરફાર જણાય છે એ ડૉપ્લર અસર છે. ધ્વનિ માટે ઉદ્ગમની આવૃત્તિ $\nu_0$ના પદમાં નિરીક્ષકને જણાયેલી (માપેલી) આવૃત્તિ $\nu_0$ નીચે મુજબ મળે છે :

$$\nu = \nu_0\left(\frac{\upsilon+\upsilon_0}{\upsilon+\upsilon_s}\right)$$

અત્રે $\upsilon$ એ માધ્યમમાંથી ધ્વનિની ઝડપ છે. $\upsilon_0$ એ માધ્યમની સાપેક્ષે નિરીક્ષકની ઝડપ છે. $\upsilon_s$ એ માધ્યમની સાપેક્ષે ઉદ્ગમની ઝડપ છે. આ સૂત્રનો ઉપયોગ કરવામાં $O \rightarrow S$ દિશામાંના વેગને ધન અને વિરુદ્ધ દિશામાંના વેગને ઋણ લેવાનાં છે.

| ભૌતિકરાશિ | પ્રતીક | પરિમાણ | એકમ | નોંધ |
|---|---|---|---|---|
| તરંગલંબાઈ | $\lambda$ | [L] | $m^1$ | સમાન કલાવાળાં બે ક્રમિક બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર |
| પ્રસરણ-અચળાંક | $k$ | $[L^{-1}]$ | $m^{-1}$ | $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ |
| તરંગ-ઝડપ | $\upsilon$ | $[LT^{-1}]$ | $m\ s^{-1}$ | $\upsilon = \nu\lambda$ |
| સ્પંદ આવૃત્તિ | $\nu_{beat}$ | $[T^{-1}]$ | $s^{-1}$ | સંપાત થતાં તરંગોની બે નજીકની આવૃત્તિઓનો તફાવત |

## ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. તરંગ એ માધ્યમમાં દ્રવ્યની સમગ્રપણે ગતિ નથી. હવામાં ધ્વનિતરંગ કરતાં પવન જુદો છે. પવનમાં એક બિંદુથી બીજા બિંદુએ હવાની ગતિ થાય છે. ધ્વનિતરંગમાં હવાના સ્તરોનાં સંઘનન અને વિઘનન થતાં હોય છે.

2. તરંગમાં દ્રવ્ય નહિ પણ ઊર્જા એકથી બીજા બિંદુએ સ્થાનફેર પામે (Transferred) છે.

3. ઊર્જાનું સ્થાનાંતર માધ્યમના પાસપાસેના દોલન કરતા ભાગો વચ્ચે સ્થિતિસ્થાપક બળો મારફતના જોડાણને લીધે થાય છે.

4. લંબગત તરંગો જે માધ્યમને આકાર સ્થિતિસ્થાપક અંક હોય છે તેમાં જ પ્રસરી શકે છે. સંગત તરંગોને પ્રસરણ માટે બલ્ક મૉડ્યૂલસની જરૂર છે તેથી ઘન, પ્રવાહી અને વાયુઓમાં પ્રસરી શકે છે.

5. આપેલ આવૃત્તિના હાર્મોનિક, પ્રગામી તરંગમાં આપેલી ક્ષણે બધા કણોને સમાન કંપવિસ્તાર પણ જુદી જુદી કળાઓ હોય છે. સ્થિત તરંગમાં બે ક્રમિક નિષ્પંદ બિંદુઓ વચ્ચેના બધા કણોની કળા સમાન હોય છે પણ કંપવિસ્તાર જુદા હોય છે.

6. માધ્યમમાં સ્થિર નિરીક્ષકની સાપેક્ષે યાંત્રિક તરંગની તે માધ્યમમાં ઝડપ ($\upsilon$), માધ્યમના માત્ર સ્થિતિસ્થાપક અને અન્ય ગુણધર્મો (દળ ઘનતા જેવા) પર આધાર રાખે છે. તે ઉદ્ગમના વેગ પર આધારિત નથી.

7. માધ્યમની સાપેક્ષે વેગ $\upsilon_0$થી ગતિ કરતા નિરીક્ષક માટે તરંગની ઝડપ સ્વાભાવિક રીતે $\upsilon$ કરતાં જુદી પણ $\upsilon \pm \upsilon_0$ જેટલી છે.

## સ્વાધ્યાય

**15.1** 2.5 kg દળની એક દોરી 200 Nના તણાવ હેઠળ છે. તણાવવાળી દોરીની લંબાઈ 20.0 m છે. જો દોરીના એક છેડે એક લંબગત આંચકો (Jerk) આપવામાં આવે, તો તે વિક્ષોભને બીજા છેડે પહોંચતાં કેટલો સમય લાગે ?

**15.2** 300 m ઊંચા ટાવરની ટોચ પરથી પડવા દીધેલો એક પથ્થર ટાવરના પાયા આગળના જળાશયના પાણીમાં ખાબકે છે. આ ખાબકવાનો અવાજ ટોચ પર ક્યારે સંભળાશે ? હવામાં ધ્વનિની ઝડપ 340 m $s^{-1}$ આપેલ છે. ($g$ = 9.8 m $s^{-2}$)

**15.3** સ્ટીલના એક તારની લંબાઈ 12.0 m અને દળ 2.10 kg છે. તારમાં લંબગત તરંગની ઝડપ સૂકી હવામાં 20 °C તાપમાને ધ્વનિની ઝડપ જેટલી એટલે કે 343 m $s^{-1}$ જેટલી બને તે માટે તારમાં તણાવ કેટલો હોવો જોઈએ ?

**15.4** $\upsilon = \sqrt{\dfrac{\gamma P}{\rho}}$ નો ઉપયોગ કરી સમજાવો કે શા માટે હવામાં ધ્વનિની ઝડપ

(a) દબાણ પર આધારિત નથી.

(b) તાપમાન સાથે વધે છે.

(c) આર્દ્રતા (ભેજ-Humidity) સાથે વધે છે.

**15.5** તમે એવું શીખ્યાં છો કે એક પરિમાણમાં પ્રગામી તરંગ $y = f(x, t)$ દ્વારા રજૂ કરાય છે, જ્યાં $x$ અને $t$ એ $x - \upsilon t$ કે $x + \upsilon t$ જેવા સંયોજનરૂપે દેખાય છે. એટલે કે $y = f(x \pm \upsilon t)$ શું આથી ઊલટું સત્ય છે ? $y$નાં નીચેનાં વિધેયો શક્ય રીતે પ્રગામી તરંગને રજૂ કરે છે કે કેમ તે ચકાસો.

(a) $(x - \upsilon t)^2$

(b) $\log [(x + \upsilon t)/x_0]$

(c) $1/(x + \upsilon t)$

**15.6** એક ચામાચીડિયું હવામાં 1000 kHz આવૃત્તિનો ધ્વનિ ઉત્પન્ન કરે છે. જો આ ધ્વનિતરંગ એક પાણીની સપાટીને મળતું હોય, તો (a) પરાવર્તિત ધ્વનિની (b) પારગમિત ધ્વનિની તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ? ધ્વનિની હવામાં ઝડપ 340 m $s^{-1}$ અને પાણીમાં ઝડપ 1486 m $s^{-1}$ છે.

**15.7** એક હૉસ્પિટલમાં પેશીમાંની ગાંઠ (ગ્રંથિ)નું સ્થાન નક્કી કરવા અલ્ટ્રાસોનિક સ્કેનર વપરાય છે. જો ગાંઠમાં ધ્વનિની ઝડપ 1.7 km $s^{-1}$ હોય તેમાં ધ્વનિની તરંગલંબાઈ કેટલી હશે ? સ્કેનરની કાર્યવાહક (Operating) આવૃત્તિ 4.2 MHz છે.

**15.8** એક દોરી પર લંબગત હાર્મોનિક તરંગ $y(x, t) = 3.0 \sin (36t + 0.018x + \pi/4)$ વડે રજૂ કરાય છે, જ્યાં $x$ અને $y$ cm માં હવામાં અને $t$ s માં છે. $x$ ની ધન દિશા ડાબેથી જમણી તરફ છે.

(a) આ પ્રગામી તરંગ છે કે સ્થિત તરંગ છે ? જો તે પ્રગામી હોય, તો ઝડપ કેટલી અને પ્રસરણની દિશા કઈ છે ?

(b) તેના કંપવિસ્તાર અને આવૃત્તિ કેટલા છે ?

(c) ઉદ્‌ગમ પાસે મૂળ (પ્રારંભિક) કળા કેટલી છે ?

(d) તરંગમાં બે ક્રમિક શૃંગ વચ્ચેનું લઘુતમ અંતર કેટલું છે ?

**15.9** સ્વાધ્યાય 15.8માં રજૂ કરેલ તરંગ માટે $x$ = 0, 2 અને 4 cm માટે સ્થાનાંતર ($y$) વિરુદ્ધ ($t$)ના આલેખ દોરો. આ આલેખોના આકાર કેવા છે ? પ્રગામી તરંગમાં દોલન ગતિ એક બિંદુથી બીજા બિંદુએ કઈ બાબતોમાં જુદી પડે છે : કંપવિસ્તાર, આવૃત્તિ કે કળા ?

**15.10** પ્રગામી હાર્મોનિક તરંગ માટે

$y(x, t) = 2.0 \cos 2\pi(10t - 0.0080\, x + 0.35)$ છે.

જ્યાં, $x$ અને $y$ cmમાં અને $t$ sમાં છે. જે બે બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર

(a) 4 m

(b) 0.5 m

(c) $\frac{\lambda}{2}$

(d) $\frac{3\lambda}{4}$ હોય, તેમને માટે દોલન ગતિનો કળા-તફાવત શોધો.

**15.11** એક દોરી (બંને છેડે જડિત)નું લંબગત સ્થાનાંતર

$y(x, t) = 0.06 \sin\left(\frac{2\pi}{3}x\right) \cos (120\, \pi t)$

પરથી મળે છે, જ્યાં $x$ અને $y$ mમાં અને $t$ sમાં છે. દોરીની લંબાઈ 1.5 m અને દળ $3.0 \times 10^{-2}$ kg છે.

નીચેના ઉત્તર આપો :

(a) આ વિધેય પ્રગામી તરંગ કે સ્થિત તરંગ રજૂ કરે છે ?

(b) આ તરંગનું વિરુદ્ધ દિશામાં ગતિ કરતા બે તરંગોના સંપાતપણા તરીકે અર્થઘટન કરો. દરેક તરંગની તરંગલંબાઈ, આવૃત્તિ અને ઝડપ કેટલા હશે ?

(c) દોરીમાંનો તણાવ શોધો.

**15.12** (i) સ્વાધ્યાય 15.11માં જણાવેલ દોરી પરના તરંગ માટે દોરી પરનાં બધાં બિંદુઓ એક સમાન (a) આવૃત્તિ (b) કળા (c) કંપવિસ્તારથી દોલનો કરે છે ? તમારા ઉત્તરો સમજાવો. (ii) એક છેડેથી 0.375 m દૂર આવેલા બિંદુએ કંપવિસ્તાર કેટલો હશે ?

**15.13** એક સ્થિતિસ્થાપક તરંગનું સ્થાનાંતર (લંબગત કે સંગત) દર્શાવવા માટે $x$ અને $t$ માં કેટલાંક વિધેયો નીચે આપેલાં છે. આમાંથી કયું વિધેય (i) પ્રગામી તરંગ (ii) સ્થિત તરંગ (iii) એકેય તરંગ નહિ, રજૂ કરે છે ?

(a) $y = 2 \cos (3x) \sin (10t)$

(b) $y = 2\sqrt{x - vt}$

(c) $y = 3 \sin (5x - 0.5t) + 4 \cos (5x - 0.5t)$

(d) $y = \cos x \sin t + \cos 2x \sin 2t$

**15.14** બે દૃઢ આધાર વચ્ચે તણાવવાળી એક દોરી 45 Hz આવૃત્તિ સાથે તેના મૂળભૂત મોડમાં દોલનો કરે છે. દોરીનું દળ $3.5 \times 10^{-2}$ kg અને તેની રેખીય દળ ઘનતા $4.0 \times 10^{-2}$ kg m$^{-1}$ છે. (i) દોરી પર લંબગત તરંગની ઝડપ કેટલી હશે ? (ii) દોરીમાં તણાવ કેટલો હશે ?

**15.15** એક મીટર લાંબી એક છેડે ખુલ્લી અને બીજે છેડે ખસી શકે તેવો પિસ્ટન ધરાવતી એક નળી અચળ આવૃત્તિના ઉદ્‌ગમ (340 Hz આવૃત્તિનો સ્વરકાંટો) સાથે નળીની લંબાઈ 25.5 cm અને 79.3 cm હોય ત્યારે અનુનાદ દર્શાવે છે. પ્રયોગના તાપમાને હવામાંથી ધ્વનિની ઝડપનો અંદાજ મેળવો. છેડા પરની અસરો અવગણ્ય છે.

**15.16** 100 cm લંબાઈનો સ્ટીલનો એક સળિયો તેના મધ્યમાંથી જકડેલો (Clamped) છે. સળિયાનાં સંગત દોલનોની મૂળભૂત આવૃત્તિ 2.53 kHz આપેલ છે. સ્ટીલમાં ધ્વનિની ઝડપ કેટલી હશે ?

**15.17** 20 cm લાંબી નળી એક છેડે બંધ છે. 430 Hzના ઉદ્‌ગમ વડે નળીનો કયો હાર્મોનિક મોડ અનુનાદમાં ઉત્તેજિત થાય છે ? જો બંને છેડા ખુલ્લા હોય, તો તે જ ઉદ્‌ગમ નળી સાથે અનુનાદમાં હશે ? (હવામાં ધ્વનિની ઝડપ 340 m $s^{-1}$ છે.)

**15.18** સિતારના બે તાર A અને B સ્વર 'ગા' ઉત્પન્ન કરવામાં થોડી સુમેળ ક્ષતિ (Out of Tune)ને લીધે 6 Hz આવૃત્તિનાં સ્પંદ ઉત્પન્ન કરે છે. A તારમાં તણાવ સહેજ ઘટાડતાં સ્પંદની આવૃત્તિ ઘટીને 3 Hz થાય છે. જો Aની મૂળ આવૃત્તિ 324 Hz હોય, તો Bની આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

**15.19** સમજાવો શા માટે (અથવા કેવી રીતે) :

(a) ધ્વનિતરંગમાં સ્થાનાંતરનું નિષ્પંદ બિંદુ એ દબાણનું પ્રસ્પંદ બિંદુ છે.

(b) ચામાચીડિયા કોઈ 'આંખ' વિના અંતરાયોનાં અંતરો, દિશાઓ, પ્રકાર અને પરિમાણો જાણી શકે છે.

(c) વાયોલિનના સૂર અને સિતારના સૂરની એક સમાન આવૃત્તિ હોઈ શકે છે, તેમ છતાં આપણે તે બે સૂર વચ્ચેનો ભેદ પારખી શકીએ છીએ.

**15.20** રેલવે સ્ટેશનના પ્લૅટફૉર્મની બહારના સિગ્નલ આગળ સ્થિર ઊભેલી એક ટ્રેન સ્થિર હવામાં 400 Hz આવૃત્તિની સિસોટી (Whistle) વગાડે છે. પ્લૅટફૉર્મ પરના નિરીક્ષકને સિસોટીની આવૃત્તિ કેટલી જણાશે; જ્યારે (a) ટ્રેન પ્લૅટફૉર્મ તરફ 10 m $s^{-1}$ની ઝડપથી આવતી હોય (b) ટ્રેન પ્લૅટફૉર્મથી દૂર 10 m $s^{-1}$ની ઝડપથી જતી હોય ? સ્થિર હવામાં ધ્વનિની ઝડપ 340 m $s^{-1}$ લો.

**15.21** એક સ્ટેશન-યાર્ડમાં ઊભેલી ટ્રેન હવામાં 400 Hz આવૃત્તિની સિસોટી વગાડે છે. યાર્ડથી સ્ટેશન તરફ પવન 10 m $s^{-1}$ની ઝડપથી ફૂંકાવાનું શરૂ થાય છે. સ્ટેશનના પ્લૅટફૉર્મ પર ઊભેલા નિરીક્ષકને સંભળાતા ધ્વનિની આવૃત્તિ, તરંગલંબાઈ અને વેગ કેટલા હશે ? શું આ પરિસ્થિતિ હવા સ્થિર હોય અને નિરીક્ષક 10 m $s^{-1}$ની ઝડપથી યાર્ડ તરફ દોડતો હોય તે કિસ્સાના જેવી જ છે ? સ્થિર હવામાં ધ્વનિની ઝડપ 340 m $s^{-1}$ લો.

## વધારાનું સ્વાધ્યાય

**15.22** દોરી પરના એક પ્રગામી હાર્મોનિક તરંગને $y(x, t) = 7.5 \sin (0.0050x + 12t + \pi/4)$ વડે રજૂ કરાય છે.

(a) $x = 1$ cm આગળના બિંદુને $t = 1$ s સમયે દોલનના સ્થાનાંતર અને વેગ કેટલા હશે ? આ વેગ તરંગના પ્રસરણના વેગ જેટલો છે ?

(b) $x = 1$ cm બિંદુના $t = 1$ s, 5 s અને 11 s સમયોના લંબગત સ્થાનાંતર જેટલાં જ સ્થાનાંતર ધરાવતા દોરી પરનાં બિંદુઓનાં સ્થાન શોધો.

**15.23** એક નાનું ધ્વનિ-સ્પંદન (દાખલા તરીકે સિસોટીનો એક ક્ષણિક અવાજ) એક માધ્યમમાં મોકલવામાં આવે છે.

(a) શું સ્પંદનને નિશ્ચિત (i) આવૃત્તિ (ii) તરંગલંબાઈ (iii) પ્રસરણની ઝડપ છે ?

(b) જો સ્પંદન ઉત્પન્ન થવાનો દર, દર 20 મિનિટ પછી 1નો હોય તો (એટલે કે સિસોટી દર 20 s બાદ સેકન્ડના ખૂબ નાના ભાગ માટે વગાડાય છે.) શું સિસોટી વડે ઉત્પન્ન થતા સ્વરની આવૃત્તિ 1/20 અથવા 0.05 Hz છે ?

**15.24** રેખીય દળ ઘનતા $8.0 \times 10^{-3}$ kg $m^{-1}$ હોય તેવી એક લાંબી દોરીનો એક છેડો 256 Hzની આવૃત્તિના એ વિદ્યુત-ચાલિત સ્વરકાંટા સાથે જોડેલ છે. બીજો છેડો એક ગરગડી પરથી પસાર થઈ 90 kg દળ ધરાવતા એક પલ્લા સાથે બાંધેલ છે. ગરગડી આગળનું દોરીનું બિંદુ ત્યાં આવતી બધી ઊર્જાને શોષી લે છે તેથી ત્યાં પરાવર્તિત તરંગનો કંપવિસ્તાર અવગણ્ય છે. $t = 0$ સમયે દોરીના ડાબા છેડા (સ્વરકાંટા બાજુનો છેડો) $x = 0$નું લંબગત સ્થાનાંતર ($y = 0$) શૂન્ય છે અને તે ધન $y$-દિશામાં ગતિ કરે છે. તરંગનો કંપવિસ્તાર 5.0 cm છે. દોરીમાં તરંગને રજૂ કરતા લંબગત સ્થાનાંતર $y$ને $x$ અને $t$ના વિધેય તરીકે લખો.

**15.25** એક સબમરીનમાં રાખેલી સોનાર (SONAR) પદ્ધતિ 40.0 kHz પર કાર્યાન્વિત થાય છે. એક દુશ્મન સબમરીન SONAR તરફ 360 km $h^{-1}$ની ઝડપથી ગતિ કરી રહી છે. બીજી સબમરીનથી પરાવર્તિત થતા ધ્વનિતરંગની આવૃત્તિ કેટલી હશે ? પાણીમાં ધ્વનિની ઝડપ 1450 m $s^{-1}$ લો.

**15.26** ભૂકંપ પૃથ્વીની અંદરના ભાગમાં ધ્વનિતરંગો ઉત્પન્ન કરે છે. વાયુ કરતાં જુદી બાબત એ છે કે, પૃથ્વી લંબગત ($S$) અને સંગત ($P$) બંને તરંગો અનુભવે છે. $S$ તરંગની લાક્ષણિક ઝડપ 4 km $s^{-1}$ અને $P$ તરંગની ઝડપ 8 km $s^{-1}$ છે. સિસ્મોગ્રાફ ભૂકંપથી આવતા $S$ અને $P$ તરંગોને નોંધે છે. એક ભૂકંપમાં પ્રથમ $P$ તરંગ, પ્રથમ $S$ તરંગ કરતાં 4 min વહેલું આવી પહોંચે છે. તરંગો સુરેખામાં ગતિ કરતા ધારી લઈને ભૂકંપ કેટલા અંતરે થયો તે શોધો.

**15.27** એક ગુફામાં ચામાચીડિયું અલ્ટ્રાસોનિક સ્પંદનો દ્વારા દિશાઓની જાણકારી મેળવતાં હળવેથી અને ઝડપથી પસાર થાય છે. ચામાચીડિયા દ્વારા ઉત્સર્જિત ધ્વનિની આવૃત્તિ 40 kHz ધારો. એક સપાટ દીવાલની સપાટી તરફની એક ત્વરિત તરાપમાં ચામાચીડિયું હવામાં ધ્વનિની ઝડપના 0.03 ગણી ઝડપે ગતિ કરે છે. દીવાલ પરથી પરાવર્તન થઈને કેટલી આવૃત્તિ ચામાચીડિયાને સંભળાશે ?

# જવાબો (ANSWERS)

## પ્રકરણ 9

**9.1** 1.8

**9.2** (a) આપેલા આલેખ પરથી $150 \times 10^6$ N $m^{-2}$ના પ્રતિબળ માટે વિકૃતિ 0.002 છે.

(b) દ્રવ્યની આધીન પ્રબળતા લગભગ $3 \times 10^8$ N $m^{-2}$ છે.

**9.3** (a) દ્રવ્ય A

(b) દ્રવ્યની મજબૂતી તેનામાં ફ્રેક્ચર થવા માટે જરૂરી પ્રતિબળના માપ પરથી નક્કી કરાય છે : દ્રવ્ય A દ્રવ્ય B કરતાં વધુ મજબૂત છે.

**9.4** (a) ખોટું (b) સાચું

**9.5** $1.5 \times 10^{-4}$ m (સ્ટીલ); $1.3 \times 10^{-4}$ m (બ્રાસ)

**9.6** આવર્તન = $4 \times 10^{-6}$ m

**9.7** $2.8 \times 10^{-6}$

**9.8** 0.127

**9.9** $7.07 \times 10^4$ N

**9.10** $D_{copper}/D_{iron} = 1.25$

**9.11** $1.539 \times 10^{-4}$ m

**9.12** $2.026 \times 10^9$ Pa

**9.13** $1.034 \times 10^3$ kg/m$^3$

**9.14** 0.0027

**9.15** 0.058 cm$^3$

**9.16** $2.2 \times 10^6$ N/m$^2$

**9.17** એરણની અણી પરનું દબાણ $2.5 \times 10^{11}$ Pa છે.

**9.18** (a) 0.7 m (b) સ્ટીલના તારથી 0.43 m

**9.19** લગભગ 0.01 m

**9.20** 260 kN

**9.21** $2.51 \times 10^{-4}$ $m^3$

## પ્રકરણ 10

**10.3** (a) ઘટે છે. (b) તાપમાન સાથે વાયુઓનો η વધે છે, પ્રવાહીઓનો η ઘટે છે. (c) આકાર વિકૃતિ, આકાર વિકૃતિના દર (d) દળ-સંરક્ષણ, બર્નુલીનું સમીકરણ (e) મોટી

**10.5** $6.2 \times 10^6$ Pa

**10.6** 10.5 m

**10.7** દરિયામાં તે ઊંડાઈએ દબાણ લગભગ $3 \times 10^7$ Pa છે. બંધારણ યોગ્ય છે, કારણ કે તે ઘણા વધારે દબાણ કે પ્રતિબળને સહન કરી શકે છે.

**10.8** $6.92 \times 10^5$ Pa

**10.9** 0.800

**10.10** સ્પિરિટ ધરાવતા ભુજમાં પારો ઉપર ચઢશે. પારાની સપાટીઓનો તફાવત 0.221 cm થશે.

**10.11** ના, બર્નુલીનો સિદ્ધાંત ફક્ત ધારારેખી વહનને જ લાગુ પડે છે.

**10.12** ના, સિવાય કે જ્યાં બર્નુલીનું સમીકરણ લાગુ પાડેલ છે તે બે બિંદુઓએ વાતાવરણનાં દબાણ નોંધપાત્ર પ્રમાણમાં જુદાં હોય.

**10.13** $9.8 \times 10^2$ Pa (રેનોલ્ડ નંબર લગભગ 0.3 છે, તેથી વહન સ્તરીય છે.)

**10.14** $1.5 \times 10^3$ N

**10.15** આકૃતિ (a) ખોટી છે. [કારણ : સાંકડા ભાગ આગળ (એટલે કે, જ્યાં ટ્યૂબના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ નાનું છે), વહનની ઝડપ દળ સંરક્ષણને લીધે વધારે મોટી હોય છે. પરિણામે ત્યાં બર્નુલીના સમીકરણ મુજબ દબાણ ઓછું હોય છે. આપણે તરલને અદબનીય ધારેલ છે.]

**10.16** 0.64 m $s^{-1}$

**10.17** $2.5 \times 10^{-2}$ N $m^{-1}$

**10.18** (b) અને (c) માટે $4.5 \times 10^{-2}$ N, (a)માં છે તે જ.

**10.19** વધારાનું દબાણ = 310 Pa, કુલ દબાણ = $1.0131 \times 10^5$ Pa. આમ છતાં, આપેલ વિગતો ત્રણ સાર્થક અંક સુધી સત્ય છે તેથી આપણે બુંદની અંદરનું દબાણ $1.01 \times 10^5$ Pa તરીકે લખવું જોઈએ.

**10.20** સાબુના પરપોટાની અંદરનું વધારાનું દબાણ = 20.0 Pa; સાબુના દ્રાવણની અંદરના હવાના પરપોટાની અંદરનું વધારાનું દબાણ = 10.0 Pa. હવાના પરપોટા માટે બહારનું દબાણ = $1.01 \times 10^5 + 0.4 \times 10^3 \times 9.8 \times 1.2 = 1.06 \times 10^5$ Pa. વધારાનું દબાણ એટલું નાનું છે કે ત્રણ સાર્થક અંકો સુધી પરપોટાની અંદરનું કુલ દબાણ $1.06 \times 10^5$ Pa છે.

**10.21** 55 N (નોંધો કે પાયાનું ક્ષેત્રફળ જવાબ પર અસર કરતું નથી.)

**10.22** (a) (a) માટે નિરપેક્ષ દબાણ = 96 cm of Hg; અને ગેજ દબાણ = 20 cm of Hg, (b) માટે નિરપેક્ષ દબાણ = 58 cm of Hg અને ગેજ દબાણ = –18 cm of Hg; (b) ડાબા ભુજમાં પારો એટલો ઊંચે ચઢશે કે જેથી બે ભુજમાં સપાટીઓનો તફાવત 19 cm થાય.

**10.23** બે સમાન પાયાનાં ક્ષેત્રફળો પર દબાણ (અને તેથી બળ) સમાન છે. પરંતુ પાણી વડે પાત્રની બાજુઓ પર બળ લાગે છે. પાત્રની બાજુઓ પાયાને બરાબર લંબ ન હોય ત્યારે આ બળને ઊર્ધ્વદિશામાં ઘટક છે. પાણી વડે પાત્રની બાજુઓ પર લાગતા બળનો આ ઊર્ધ્વ ઘટક, પ્રથમ પાત્ર માટે બીજા પાત્ર કરતાં વધુ છે. આથી બે કિસ્સાઓમાં પાયા પર લાગતાં બળ સમાન હોય ત્યારે પણ પાત્રોનાં વજન જુદાં હોય છે.

**10.24** 0.2 m

**10.25** (a) દબાણનો ઘટાડો વધારે મોટો છે. (b) વહનના વધતા વેગ સાથે વધારે અગત્યનું.

**10.26** (a) $0.98 \text{ m s}^{-1}$ (b) $1.24 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

**10.27** 4393 kg

**10.28** $5.8 \text{ cm s}^{-1}$, $3.9 \times 10^{-10}$ N

**10.29** 5.34 mm

**10.30** પ્રથમ છિદ્ર માટે, (અંતર્ગોળ અને બહિર્ગોળ બાજુઓ વચ્ચે) દબાણ તફાવત = $2 \times 7.3 \times 10^{-2} / 3 \times 10^{-3}$ = 48.7 Pa. આ રીતે બીજા છિદ્ર માટે, દબાણ-તફાવત = 97.3 Pa. પરિણામે બે છિદ્રોમાં સપાટીનો તફાવત $[48.7 / (10^3 \times 9.8)]$ m = 5.0 mm

સાંકડા છિદ્રમાં સપાટી વધુ ઊંચી છે (નોંધો કે શૂન્ય સંપર્કકોણ માટે, મેનિસ્કસની ત્રિજ્યા છિદ્રની ત્રિજ્યા જેટલી છે. બંને છિદ્રમાં સપાટીની અંતર્ગોળ બાજુએ દબાણ 1 atm છે).

**10.31** (b) 8 km જો આપણે ઊંચાઈ સાથે $g$ ના ફેરફારને ધ્યાનમાં લઈએ, તો ઊંચાઈ થોડી વધુ છે, લગભગ 8.2 km.

## પ્રકરણ 11

**11.1** નિયોન : – 248.58 °C = – 415.44 °F;

$CO_2$: – 56.60 °C = – 69.88 °F

($t_F = \frac{9}{5} t_c + 32$નો ઉપયોગ કરો.)

**11.2** $T_A = (4/7)\ T_B$

**11.3** 384.8 K

**11.4** (a) ટ્રિપલ-બિંદુને વિશિષ્ટ તાપમાન છે; ઠારણબિંદુ તાપમાન અને ઉત્કલનબિંદુ તાપમાન દબાણ પર આધાર રાખે છે. (b) બીજું નિશ્ચિત બિંદુ નિરપેક્ષ શૂન્ય પોતે જ છે; (c) ટ્રિપલ બિંદુ 0.01 °C છે 0 °C નહિ; (d) 491.69

**11.5** (a) $T_A$ = 392.69 K, $T_B$ = 391.98 K; (b) વિસંગતિ ઉદ્‌ભવે છે કારણ કે વાયુઓ પૂરા આદર્શ હોતા નથી.

વિસંગતિ ઓછી કરવા માટે અવલોકનો નીચાં ને નીચાં દબાણે લેવાં જોઈએ અને માપેલા તાપમાન વિરુદ્ધ વાયુના ટ્રિપલ બિંદુએ નિરપેક્ષ દબાણના આલેખનું બહિર્વેશન (extra polated) કરીને દબાણ શૂન્ય તરફ ગતિ કરે તે લક્ષમાં તાપમાન મેળવવું જોઈએ. આ સંજોગમાં વાયુઓ આદર્શ વાયુ વર્તણૂક તરફ જાય છે.

**11.6** 45.0 °C તાપમાને સળિયાની ખરેખરી લંબાઈ = (63.0 + 0.0136) cm = 63.0136 cm. (જોકે આપણે ત્રણ સાર્થક અંક સુધી લંબાઈમાં ફેરફાર 0.0136 cm છે એમ કહેવું જોઈએ, પણ કુલ લંબાઈ ત્રણ સાર્થક સ્થાનો સુધી 63.0 cm છે. આ જ સળિયાની 27.0 °C તાપમાને લંબાઈ = 63.0 cm છે.

**11.7** જ્યારે શાફ્ટને – 69 °C તાપમાન સુધી ઠંડી કરવામાં આવે ત્યારે પૈડું શાફ્ટ પર સરકી શકશે.

**11.8** વ્યાસ $1.44 \times 10^{-2}$ cm વધે છે.

**11.9** $3.8 \times 10^2$ N

**11.10** સંયુક્ત સળિયાના છેડાઓને જડિત કરેલા નથી, તેથી દરેક સળિયો મુક્ત રીતે વિસ્તાર પામે છે.

$\Delta l_{\text{બ્રાસ}}$ = 0.21 cm, $\Delta l_{\text{સ્ટીલ}}$ = 0.126 cm = 0.13 cm

લંબાઈમાં કુલ ફેરફાર = 0.34 cm. જંક્શન આગળ કોઈ 'ઉષ્મીય પ્રતિબળ' ઉત્પન્ન થયું નથી કારણ કે સળિયાઓ મુક્ત રીતે વિસ્તાર પામે છે.

**11.11** 0.0147 = $1.5 \times 10^{-2}$

**11.12** 103 °C

**11.13** 1.5 kg

**11.14** 0.43 J $g^{-1}$ $K^{-1}$ ; નાનો

**11.15** વાયુઓ દ્વિ-પરમાણ્વિક છે અને તેમને સ્થાનાંતર મુક્તતાના અંશો ઉપરાંત અન્ય મુક્તતાના અંશ (એટલે કે ગતિના બીજા મોડ્સ) શક્ય છે. વાયુનું તાપમાન અમુક પ્રમાણમાં વધારવા માટે દરેક મોડ્સની સરેરાશ ઊર્જા વધારવા માટે ઉષ્મા આપવી પડે. પરિણામે દ્વિ-પરમાણ્વિક વાયુઓની મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્મા એક-પરમાણ્વિક વાયુ કરતાં વધારે હોય છે. એવું દર્શાવી શકાય છે કે જો માત્ર ગતિના ચક્રીય મોડ્સને ધ્યાનમાં લેવામાં આવે તો દ્વિ-પરમાણ્વિક વાયુની મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્મા લગભગ (5/2) R છે, જે કોષ્ટકમાંની યાદીમાં ક્લોરિન સિવાયના બધા વાયુઓ માટેનાં અવલોકનો સાથે સંમત છે. ક્લોરિનની મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્માનું ઊંચું મૂલ્ય એમ દર્શાવે છે કે ચક્રીય મોડ્સ ઉપરાંત દોલન મોડ્સ પણ ઓરડાના તાપમાને ક્લોરિનમાં હાજર હોય છે.

**11.16** (a) ટ્રિપલ બિંદુએ તાપમાન = – 56.6 °C અને દબાણ = 5.11 atm

(b) જો દબાણ ઘટે તો $CO_2$નાં ઉત્કલનબિંદુ અને ઠારણબિંદુ બંને ઘટે છે.

(c) $CO_2$નાં ક્રાંતિ તાપમાન અને દબાણ અનુક્રમે 31.1 °C અને 73.0 atm છે. આ તાપમાનથી ઊંચા તાપમાને, ખૂબ ઊંચુ દબાણ લગાડવા છતાં $CO_2$નું પ્રવાહીકરણ થશે નહિ.

(d) (a) બાષ્પ (b) ઘન (c) પ્રવાહી

**11.17** (a) ના, બાષ્પ સીધી ઘનમાં ઠારણ પામે છે.

(b) પ્રવાહી સ્વરૂપમાંથી પસાર થયા વિના તે સીધી ઘન સ્વરૂપમાં ઠારણ પામે છે.

(c) તે પ્રવાહીસ્થિતિમાં અને પછી બાષ્પસ્થિતિમાં રૂપાંતરિત થાય છે. જ્યાં $P - T$ ડાયાગ્રામ પર 10 atmના અચળ દબાણની સમક્ષિતિજ રેખા ઠારણ વક્ર અને બાષ્પીકરણ વક્રને છેદે છે તે બિંદુઓ ઠારણ અને ઉત્કલન બિંદુઓ છે.

(d) તે કોઈ સ્પષ્ટ રૂપાંતર પ્રવાહીમાં થવાનું દર્શાવશે નહિ, પરંતુ જેમ તેનું દબાણ વધે તેમ આદર્શ વાયુ વર્તણૂકથી વધુ ને વધુ અલગ પડશે.

**11.18** 4.3 g/min

**11.19** 3.7 kg

**11.20** 238 °C

**11.22** 9 min

## પ્રકરણ 12

**12.1** 16 g પ્રતિ મિનિટ

**12.2** 934 J

**12.4** 2.64

**12.5** 16.9 J

**12.6** (a) 0.5 atm (b) શૂન્ય (c) શૂન્ય (વાયુને આદર્શ ગણતાં) (d)ના, કારણ કે પ્રક્રિયા (મુક્ત વિસ્તરણ તરીકે ઓળખાતી) ઝડપી છે અને નિયંત્રિત કરી શકાતી નથી. વચગાળાની અવસ્થાઓ અસમતુલિત અવસ્થાઓ છે અને વાયુ-સમીકરણનું પાલન કરતી નથી. સમય જતાં, વાયુ સંતુલિત અવસ્થામાં પાછો ફરે છે.

**12.7** 15 %, $3.1 \times 10^9$ J

**12.8** 25 W

**12.9** 450 J

**12.10** 10.4

## પ્રકરણ 13

**13.1** $4 \times 10^{-4}$

**13.3** (a) ત્રુટક આલેખ 'આદર્શ' વાયુ વર્તણૂકને અનુરૂપ છે. (b) $T_1 > T_2$; (c) 0.26 J $K^{-1}$

(d) ના, $6.3 \times 10^{-5}$ kg $H_2$ તે જ મૂલ્ય આપશે.

**13.4** 0.14 kg

**13.5** $5.3 \times 10^{-6}$ $m^3$

**13.6** $6.10 \times 10^{26}$

**13.7** (a) $6.2 \times 10^{-21}$ J (b) $1.24 \times 10^{-19}$ J (c) $2.1 \times 10^{-16}$ J

**13.8** હા, ઍવોગેડ્રોના નિયમ મુજબ. ના, $\upsilon_{rms}$ ત્રણેય વાયુઓમાંથી સૌથી હલકા વાયુ નિયૉન માટે મહત્તમ છે.

**13.9** $2.52 \times 10^3$ K

**13.10** સરેરાશ મુક્ત પથનું સૂત્ર :

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi n d^2}$$

વાપરો, જ્યાં $d$ અણુનો વ્યાસ છે. આપેલા દબાણ અને તાપમાન માટે $N/V = 5.10 \times 10^{25}$ $m^{-3}$ અને $\bar{l} = 1.0 \times 10^{-7}$ m. $\upsilon_{rms} = 5.1 \times 10^2$ m $s^{-1}$.

સંઘાત આવૃત્તિ = $\frac{\upsilon_{rms}}{\bar{l}} = 5.1 \times 10^9$ $s^{-1}$. સંઘાત માટે લાગતો સમય = $d / \upsilon_{rms} = 4 \times 10^{-13}$ s. ક્રમિક સંઘાતો વચ્ચે લાગતો સમય = $1 / \upsilon_{rms} = 2 \times 10^{-10}$ s. આમ, બે ક્રમિક સંઘાતો વચ્ચે લાગતો સમય સંઘાત માટેના સમય કરતાં 500 ગણો છે. આમ, વાયુમાં અણુ મહદંશે મુક્ત રીતે ગતિ કરે છે.

**13.11** લગભગ 24 cm નો પારો બહાર વહન પામે છે અને બાકીના 52 cm પારાનો સ્તંભ વત્તા તેની ઉપરની 48 cm હવાનો સ્તંભ, બહારના વાતાવરણના દબાણ સાથે સંતુલનમાં રહે છે. (તાપમાનમાં ફેરફાર થતો નથી એમ આપણે ધારી લઈએ છીએ.)

**13.12** ઑક્સિજન

**13.14** કાર્બન [1.29 Å]; સોનું (ગોલ્ડ) [1.59 Å]; પ્રવાહી નાઇટ્રોજન [1.77 Å]; લિથિયમ [1.33 Å]; પ્રવાહી ફ્લોરિન [1.88 Å]

## પ્રકરણ 14

**14.1** (b), (c)

**14.2** (b) અને (c): SHM; (a) અને (d) આવર્તગતિ રજૂ કરે છે પણ SHM નહિ [બહુપરમાણુક અણુને સંખ્યાબંધ પ્રાકૃતિક આવૃત્તિઓ હોય છે, તેથી સામાન્યતઃ તેનું દોલન ઘણી જુદી જુદી આવૃત્તિઓનું સંપાતીકરણ છે. આવું સંપાતીકરણ આવર્ત હોય છે પણ SHM નહિ.].

**14.3** (b) અને (d) આવર્ત છે, દરેકનો આવર્તકાળ 2 s છે; (a) અને (c) આવર્ત નથી [નોંધો કે (c) માં માત્ર કોઈ એક જ સ્થાનનું પુનરાવર્તન, તે ગતિને આવર્ત હોવા માટે પર્યાપ્ત નથી. એક આવર્ત દરમિયાનની સમગ્ર ગતિ ક્રમશઃ પુનરાવર્તન પામવી જોઈએ].

**14.4** (a) સાદી પ્રસંવાદી, $T = (2\pi/\omega)$; (b) આવર્ત, $T = (2\pi/\omega)$ પરંતુ સાદી પ્રસંવાદી નથી; (c) સાદી પ્રસંવાદી, $T = (\pi/\omega)$; (d) આવર્ત, $T = (2\pi/\omega)$, પરંતુ સાદી પ્રસંવાદી નથી; (e) બિનઆવર્ત; (f) બિનઆવર્ત ($t \rightarrow \infty$ સાથે વિધેય $\rightarrow \infty$ તેથી ભૌતિક રીતે સ્વીકાર્ય નથી.

**14.5** (a) 0, +, + (b) 0, −, − (c) −, 0,0 (d) −, −, − (e) +, +, + (f) −, −, −

**14.6** (c) સરળ આવર્ત ગતિ દર્શાવે છે.

**14.7** A = $\sqrt{2}$ cm, $\phi = 7\pi/4$; B = $\sqrt{2}$ cm, $a = \pi/4$

**14.8** 219 N

**14.9** આવૃત્તિ 3.2 $s^{-1}$; બ્લૉકનો મહત્તમ પ્રવેગ 8.0 m $s^{-2}$; બ્લૉકની મહત્તમ ઝડપ 0.4 m $s^{-1}$

**14.10** (a) $x = 2 \sin 20t$

(b) $x = 2 \cos 20t$

(c) $x = -2 \cos 20t$

જ્યાં, $x$ cmમાં છે. આ વિધેયો કંપવિસ્તારમાં કે આવૃત્તિમાં જુદા પડતા નથી. તેઓ પ્રારંભિક કળામાં જુદા પડે છે.

**14.11** (a) $x = -3 \sin \pi t$, જ્યાં $x$ cmમાં છે.

(b) $x = -2 \cos \frac{\pi}{2} t$, જ્યાં $x$ cmમાં છે.

**14.13** (a) અને (b) બંને માટે $F/k$

(b) $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ (a) માટે અને $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$ (b) માટે

**14.14** 100 m/min

**14.15** 8.4 s

**14.16** (a) સાદા લોલક માટે, $k$ પોતે જ $m$ને સમપ્રમાણમાં હોવાથી $m$ નાબૂદ થાય છે.

(b) $\sin\theta < \theta$ ; જો પુનઃસ્થાપક બળ $mg \sin\theta$ ને સ્થાને $mg\,\theta$ મુકાય તો તેનો અર્થ મોટા કોણ માટે $g$માં અસરકારક ઘટાડો થાય છે આથી આવર્તકાળ $T$માં આપેલ સૂત્ર, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ; જ્યાં $\sin\theta = \theta$ ધારેલ છે, તે પરથી મળતા મૂલ્ય કરતાં વધારો થાય છે.

(c) હા, કાંડા ઘડિયાળની અંદર ગતિ સ્પ્રિંગ-કાર્ય પર આધારિત છે અને તેને ગુરુત્વપ્રવેગ સાથે કોઈ સંબંધ નથી.

(d) મુક્ત પતન પામતા માણસ માટે ગુરુત્વ અદૃશ્ય થઈ જાય છે તેથી આવૃત્તિ શૂન્ય છે.

**14.17** $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + \upsilon^4/R^2}}}$. સૂચન : સમક્ષિતિજ સમતલમાં લાગતા ત્રિજ્યાવર્તી પ્રવેગ $\upsilon^2/R$ને લીધે અસરકારક ગુરુત્વપ્રવેગ ઘટે છે.

**14.18** સંતુલનમાં, બૂચનું વજન ઉત્પ્લાવક બળના બરાબર છે. જ્યારે બૂચને $x$ જેટલો નીચે ધકેલવામાં (દબાવવામાં) આવે છે ત્યારે ઉપર તરફનું ચોખ્ખું (net) ઉત્પ્લાવક બળ $Ax\rho_1 g$ છે. આમ બળ-અચળાંક $k = A\rho_1 g$. $m = Ah\rho$નો અને $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$નો ઉપયોગ કરતાં; આપેલ સૂત્ર મળે છે.

**14.19** જ્યારે બંને છેડા વાતાવરણમાં ખુલ્લા છે અને બે ભુજમાં પ્રવાહીના સ્તરમાં તફાવત $h$ છે; ત્યારે પ્રવાહી સ્તંભ પરનું ચોખ્ખું (net) બળ $Ah\rho g$ છે જ્યાં, $A$ નળીના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ અને $\rho$ પ્રવાહીની ઘનતા છે. પુનઃસ્થાપક બળ $h$ને સમપ્રમાણમાં હોવાથી ગતિ સાદી પ્રસંવાદી પ્રકારની છે.

**14.20** $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{Vm}{Ba^2}}$ જ્યાં, $B$ હવાનો બલ્ક મૉડ્યૂલસ છે. સમતાપી ફેરફાર માટે $B = P$.

**14.21** (a) $5 \times 10^4 N\ m^{-1}$ (b) $1344.6\ kg\ s^{-1}$

**14.22** **સૂચન :** સરેરાશ ગતિઊર્જા $= \dfrac{1}{T}\int_0^T \dfrac{1}{2} m\upsilon^2 dt$; સરેરાશ સ્થિતઊર્જા $= \dfrac{1}{T}\int_0^T \dfrac{1}{2} kx^2 dt$

**14.23** **સૂચન :** વળલોલકનો આવર્તકાળ $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{I}{\alpha}}$ પરથી મળે છે. જ્યાં, $I$ ભ્રમણ-અક્ષને અનુલક્ષીને જડત્વની ચાકમાત્રા છે. આપણા કિસ્સામાં $I = \dfrac{1}{2}MR^2$, જ્યાં $M$ તક્તીનું દળ અને $R$ તેની ત્રિજ્યા છે. આપેલાં મૂલ્યો અવેજ કરતાં $\alpha = 2.0\ N\ m\ rad^{-1}$.

**14.24** (a) $-5\pi^2\ m\ s^{-2}$ ; 0 (b) $-3\pi^2\ m\ s^{-2}$; $0.4\pi\ m\ s^{-1}$ (c) 0 ; $0.5\ \pi\ m\ s^{-1}$

**14.25** $\sqrt{\left(x_0^2 + \dfrac{\upsilon_0^2}{\omega^2}\right)}$

## પ્રકરણ 15

**15.1** 0.5 s

**15.2** 8.7 s

**15.3** $2.06 \times 10^4$ N

**15.4** આદર્શ વાયુ નિયમ ધારો : $P = \dfrac{\rho RT}{M}$, જ્યાં $\rho$ ઘનતા, $M$ અણુભાર અને $T$ વાયુનું તાપમાન છે. આ પરથી $\upsilon = \sqrt{\dfrac{\gamma RT}{M}}$. જે દર્શાવે છે કે $\upsilon$ એ :

(a) દબાણ પર આધારિત નથી.

(b) $\sqrt{T}$ મુજબ વધે છે.

(c) પાણીનો અણુભાર (18); $N_2$ (28) અને $O_2$ (32)ના અણુભારો કરતાં ઓછો છે. આથી આર્દ્રતા (ભેજ) વધે છે તેમ હવાનો અસરકારક અણુભાર ઘટે છે તેથી $\upsilon$ વધે છે.

**15.5** ઊલટું સત્ય નથી. પ્રગામી તરંગ માટે સ્વીકાર્ય વિધેયની સ્વાભાવિક જરૂરિયાત એ છે કે તે દરેક બિંદુએ અને દરેક સમયે સીમિત (નિશ્ચિત) હોવું જોઈએ. માત્ર વિધેય (c) આ શરતનું પાલન કરે છે. બાકીના પ્રગામી તરંગને રજૂ કરી શકે નહિ.

**15.6** (a) $3.4 \times 10^{-4}$ m (b) $1.49 \times 10^{-3}$ m

**15.7** $4.1 \times 10^{-4}$ m

**15.8** (a) પ્રગામી તરંગ. તે 20 m $s^{-1}$ની ઝડપથી જમણીથી ડાબી બાજુ ગતિ કરે છે.

(b) 3.0 cm, 5.7 Hz

(c) $\pi/4$

(d) 3.5 m

**15.9** બધા આલેખો sinusoidal (sine પ્રકારના) છે. તેમના કંપવિસ્તાર સમાન અને આવૃત્તિ સમાન છે, પરંતુ પ્રારંભિક કળાઓ જુદી છે.

**15.10** (a) 6.4 $\pi$ rad

(b) 0.8 $\pi$ rad

(c) $\pi$ rad

(d) $(\pi/2)$ rad

**15.11** (a) સ્થિત તરંગ

(b) દરેક તરંગ માટે $l$ = 3 m, n = 60 Hz અને $\upsilon$ = 180 m $s^{-1}$

(c ) 648 N

**15.12** (a) દોરી પરનાં નિષ્પદ બિંદુઓ સિવાયનાં બધાં બિંદુઓને સમાન આવૃત્તિ અને સમાન કળા હોય છે પણ કંપવિસ્તાર સમાન નથી.

(b) 0.042 m

**15.13** (a) સ્થિત તરંગ

(b) કોઈ પણ તરંગ માટે અસ્વીકાર્ય વિધેય

(c) પ્રગામી હાર્મોનિક તરંગ

(d) બે સ્થિત તરંગોનું સંપાતીકરણ

**15.14** (a) 79 m $s^{-1}$

(b) 248 N

**15.15** 347 m $s^{-1}$

**સૂચન** : એક છેડે બંધ નળી માટે $\upsilon_n = \frac{(2n-1)v}{4l}$ ; $n$ = 1,2,3,....

**15.16** 5.06 km $s^{-1}$

**15.17** પ્રથમ હાર્મોનિક (મૂળભૂત); ના

**15.18** 318 Hz

**15.20** (i) (a) 412 Hz (b) 389 Hz (ii) દરેક કિસ્સામાં 340 m $s^{-1}$

**15.21** 400 Hz, 0.875 m, 350 m $s^{-1}$. ના, કારણ કે આ કિસ્સામાં માધ્યમની સાપેક્ષે ઉદ્‌ગમ અને નિરીક્ષક બંને ગતિમાં છે.

**15.22** (a) 1.666 cm, 87.75 cm $s^{-1}$; ના, તરંગ-પ્રસરણનો વેગ – 24 m $s^{-1}$ છે.

(b) $x$ = 1 cm બિંદુથી; $n\lambda$ ($n = \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$) જ્યાં $\lambda$ = 12.6 m છે; અંતરોએ આવેલાં બધાં બિંદુઓ

**15.23** (a) સ્પંદનને નિશ્ચિત તરંગલંબાઈ અથવા આવૃત્તિ નથી, પરંતુ પ્રસરણની નિશ્ચિત ઝડપ છે (વિભાજન ન કરે તેવા માધ્યમમાં)

(b) ના

**15.24** $y = 0.05 \sin(\omega t - kx)$; અત્રે $\omega = 1.61 \times 10^3$ $s^{-1}$, $k$ = 4.84 $m^{-1}$; $x$ અને $y$ mમાં છે.

**15.25** 45.9 kHz

**15.26** 1920 km

**15.27** 42.47 kHz

# BIBLIOGRAPHY

**પાઠ્યપુસ્તકો**

આ પુસ્તકમાં આવરી લેવાયેલ મુદ્દાઓ અંગેના વધારાનાં વાચન માટે નીચેનાં પુસ્તકોમાંથી એક કે વધુ પુસ્તકનું વાચન કરવાનું કદાચ તમને ગમશે. જોકે આમાંનાં કેટલાંક પુસ્તકો વધુ ઊંચાં સ્તરનાં છે અને આ પુસ્તકમાંના મુદ્દાઓ કરતાં ઘણા વધુ મુદ્દાઓ ધરાવતા હોઈ શકે.


1. **Ordinary Level Physics**, A.F. Abbott, Arnold-Heinemann (1984)
2. **Advanced Level Physics**, M. Nelkon and P. Parker, 6th Edition Arnold-Heinemann (1987)
3. **Advanced Physics**, Tom Duncan, John Murray (2000)
4. **Fundamentals of Physics**, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 7th Edition John Wily (2004)
5. **University Physics**, H.D. Young, M.W. Zemansky and F.W. Sears, Narosa Pub. House (1982)
6. **Problems in Elementary Physics**, B. Bukhovtsa, V. Krivchenkov, G. Myakishev and V. Shalnov, MIR Publishers, (1971)
7. **Lectures on Physics** (3 volumes), R.P. Feynman, Addision – Wesley (1965)
8. **Berkeley Physics Course** (5 volumes) McGraw Hill (1965)
   a. Vol. 1 – Mechanics: (Kittel, Knight and Ruderman)
   b. Vol. 2 – Electricity and Magnetism (E.M. Purcell)
   c. Vol. 3 – Waves and Oscillations (Frank S. Craw-ford)
   d. Vol. 4 – Quantum Physics (Wichmann)
   e. Vol. 5 – Statistical Physics (F. Reif)
9. **Fundamental University Physics**, M. Alonso and E. J. Finn, Addison – Wesley (1967)
10. **College Physics**, R.L. Weber, K.V. Manning, M.W. White and G.A. Weygand, Tata McGraw Hill (1977)
11. **Physics : Foundations and Frontiers**, G. Gamow and J.M. Cleveland, Tata McGraw Hill (1978)
12. **Physics for the Inquiring Mind**, E.M. Rogers, Princeton University Press (1960)
13. **PSSC Physics Course**, DC Heath and Co. (1965) Indian Edition, NCERT (1967)
14. **Physics Advanced Level**, Jim Breithampt, Stanley Thornes Publishers (2000)
15. **Physics,** Patrick Fullick, Heinemann (2000)

16. **Conceptual Physics,** Paul G. Hewitt, Addision-Wesley (1998)
17. **College Physics,** Raymond A. Serway and Jerry S. Faughn, Harcourt Brace and Co. (1999)
18. **University Physics,** Harris Benson, John Wiley (1996)
19. **University Physics,** William P. Crummet and Arthur B. Western, Wm.C. Brown (1994)
20. **General Physics,** Morton M. Sternheim and Joseph W. Kane, John Wiley (1988)
21. **Physics,** Hans C. Ohanian, W.W. Norton (1989)
22. **Advanced Physics,** Keith Gibbs, Cambridge University Press(1996)
23. **Understanding Basic Mechanics,** F. Reif, John Wiley (1995)
24. **College Physics,** Jerry D. Wilson and Anthony J. Buffa, Prentice-Hall (1997)
25. **Senior Physics, Part – I,** I.K. Kikoin and A.K. Kikoin, Mir Publishers (1987)
26. **Senior Physics, Part – II,** B. Bekhovtsev, Mir Publishers (1988)
27. **Understanding Physics,** K. Cummings, Patrick J. Cooney, Priscilla W. Laws and Edward F. Redish, John Wiley (2005)
28. **Essentials of Physics,** John D. Cutnell and Kenneth W. Johnson, John Wiley (2005)

## સામાન્ય પુસ્તકો

વિજ્ઞાન અને માહિતીપ્રદ અને મનોરંજક વ્યાપક વાચન માટે તમને કદાચ નીચેનામાંથી કેટલાંક પુસ્તકો વાંચવાનું ગમશે. આમ છતાં યાદ રાખો કે આમાંનાં ઘણાં પુસ્તકો આ પુસ્તકના સ્તર કરતા ઘણા આગળના સ્તરે લખાયેલ છે.

1. **Mr. Tompkins** in paperback, G. Gamow, Cambridge University Press (1967)
2. **The Universe and Dr. Einstein**, C. Barnett, Time Inc. New York (1962)
3. **Thirty years that Shook Physics**, G. Gamow, Double Day, New York (1966)
4. **Surely You're Joking, Mr. Feynman**, R.P. Feynman, Bantam books (1986)
5. **One, Two, Three... Infinity**, G. Gamow, Viking Inc. (1961)
6. **The Meaning of Relativity**, A. Einstein, (Indian Edition) Oxford and IBH Pub. Co (1965)
7. **Atomic Theory and the Description of Nature**, Niels Bohr, Cambridge (1934)
8. **The Physical Principles of Quantum Theory**, W. Heisenberg, University of Chicago Press (1930)
9. **The Physics- Astronomy Frontier**, F. Hoyle and J.V. Narlikar, W.H. Freeman (1980)
10. **The Flying Circus of Physics with Answer**, J. Walker, John Wiley and Sons (1977)
11. **Physics for Everyone** (series), L.D. Landau and A.I. Kitaigorodski, MIR Publisher (1978)
    Book 1: Physical Bodies
    Book 2: Molecules
    Book 3: Electrons
    Book 4: Photons and Nuclei
12. **Physics can be Fun**, Y. Perelman, MIR Publishers (1986)
13. **Power of Ten**, Philip Morrison and Eames, W.H. Freeman (1985)
14. **Physics in your Kitchen Lab.**, I.K. Kikoin, MIR Publishers (1985)
15. **How Things Work : The Physics of Everyday Life**, Louis A. Bloomfield, John Wiley (2005)
16. **Physics Matters : An Introduction to Conceptual Physics,** James Trefil and Robert M. Hazen, John Wiley (2004)

# પારિભાષિક શબ્દો

## A

Absolute scale temperature - તાપમાનનો નિરપેક્ષ માપક્રમ

Absolute zero - નિરપેક્ષ શૂન્ય

Acceleration (linear) - પ્રવેગ (રેખીય)

Acceleration due to gravity - ગુરુત્વપ્રવેગ

Accuracy - ચોકસાઈ

Action-reaction - ક્રિયા-પ્રતિક્રિયા

Addition of vectors - સદિશોનો સરવાળો

Adiabatic process - સમોષ્મી પ્રક્રિયા

Aerofoil - ઍરોફોઇલ

Air resistance - હવાનો અવરોધ

Amplitude - કંપવિસ્તાર

Angle of contact - સંપર્કકોણ

Angstrom - ઍંગસ્ટ્રોમ

Angular Acceleration - કોણીય પ્રવેગ

Angular displacement - કોણીય સ્થાનાંતર

Angular frequency - કોણીય આવૃત્તિ

Angular momentum - કોણીય વેગમાન

Angular velocity - કોણીય વેગ

Angular wave number - કોણીય તરંગ-સંખ્યા

Antinodes - પ્રસ્પંદ બિંદુ

Archimedes Principle - આર્કિમિડિસનો નિયમ

Area expansion - ક્ષેત્રીય વિસ્તરણ

Atmospheric pressure - વાતાવરણનું દબાણ

Average acceleration - સરેરાશ પ્રવેગ

Average speed - સરેરાશ ઝડપ

Average velocity - સરેરાશ વેગ

Avogadro's law - ઍવોગેડ્રોનો નિયમ

## B

Banked road - ઢોળાવવાળો રસ્તો

Barometer - બૅરોમીટર

Beat frequency - સ્પંદ આવૃત્તિ

Beats - સ્પંદ

Bending of beam - પાટડાનું વંકન

Bernoulli's Principle - બર્નુલીનો સિદ્ધાંત

Blood pressure - લોહીનું દબાણ (રક્તચાપ)

Boiling point - ઉત્કલન બિંદુ

Boyle's law - બૉઇલનો નિયમ

Buckling - વળી જવું (ઝૂકી જવું)

Bulk modulus - કદ સ્થિતિસ્થાપકતા-અંક

Buoyant force - ઉત્પ્લાવક બળ

## C

Calorimeter - કેલરીમિટર

Capillary rise - કેશાકર્ષણ

Carnot engine - કાર્નોટ-ઍન્જિન

Central forces - કેન્દ્રિય બળો

Centre of Gravity - ગુરુત્વ કેન્દ્ર

Centre of mass - દ્રવ્યમાન-કેન્દ્ર

Centripetal acceleration - કેન્દ્રગામી પ્રવેગ

Centripetal force - કેન્દ્રગામી બળ

Change of state - અવસ્થાનો ફેરફાર

Charle's law - ચાર્લ્સનો નિયમ

Chemical Energy - રાસાયણિક ઊર્જા

Circular motion - વર્તુળાકાર ગતિ

Clausius statement - ક્લોસિયસનું કથન

Coefficient of area expansion - ક્ષેત્રીય પ્રસરણાંક

Coefficient of linear expansion - રેખીય પ્રસરણાંક

Coefficient of performance - પરફોર્મન્સ ગુણાંક

Coefficient of static friction - સ્થિત ઘર્ષણાંક

Coefficient of viscosity - શ્યાનતા ગુણાંક

Coefficient of volume expansion - કદ-પ્રસરણાંક

Cold reservoir - ઠારણ-વ્યવસ્થા (તંત્ર)

Collision - સંઘાત

Collision in two dimensions - દ્વિ-પરિમાણમાં સંઘાત

Compressibility - દબનીયતા

Compressions - સંકોચન

Compressive stress - દાબીય પ્રતિબળ

Conduction - ઉષ્માવહન

Conservation laws - સંરક્ષણના નિયમો

Conservation of angular momentum - કોણીય વેગમાનનું સંરક્ષણ

Conservation of Mechanical Energy - યાંત્રિકઊર્જાનું સંરક્ષણ

Conservation of momentum - વેગમાન સંરક્ષણ

Conservative force - સંરક્ષી બળ

Constant acceleration - અચળ પ્રવેગ

Contact force - સંપર્ક બળ

Convection - ઉષ્માનયન

Couple - યુગ્મ

Crest - શૃંગ

Cyclic process - ચક્રીય પદ્ધતિ

# D

Dalton's law of partial pressure - ડાલ્ટનનો આંશિક દબાણનો નિયમ

Damped oscillations - અવમંદિત દોલનો

Damped simple Harmonic motion - અવમંદિત સરળ આવર્ત ગતિ

Damping constant - અવમંદન અચળાંક

Damping force - અવમંદિત બળ

Derived units - સાધિત એકમો

Detergent action - ડિટરજન્ટ કાર્ય

Diastolic pressure - ડાયસ્ટોલિક દબાણ

Differential calculus - વિકલિત કલનશાસ્ત્ર

Dimensional analysis - પારિમાણિક વિશ્લેષણ

Dimensions - પરિમાણો

Displacement vector - સ્થાનાંતર સદિશ

Displacement - સ્થાનાંતર

Doppler effect - ડૉપ્લર-અસર

Doppler shift - ડોપ્લર શિફ્ટ (સ્થાનાંતર, ફેરફાર)

Driving frequency - ચાલક આવૃત્તિ

Dynamics of rotational motion - ચાકગતિ વિજ્ઞાન

# E

Efficiency of heat engine - ઉષ્મા-એન્જિનની કાર્યક્ષમતા
Elastic Collision - સ્થિતિસ્થાપક સંઘાત
Elastic deformation - સ્થિતિસ્થાપક વિકૃતિ
Elastic limit - સ્થિતિસ્થાપકતા હદ
Elastic moduli - સ્થિતિસ્થાપક અંકો
Elasticity - સ્થિતિસ્થાપકતા
Elastomers - ઈલાસ્ટોમર્સ
Electromagnetic force - વિદ્યુતચુંબકીય બળ
Energy - ઊર્જા
Equality of vectors - સદિશોની સમાનતા
Equation of continuity - સાતત્ય સમીકરણ
Equilibrium of a particle - કણનું સંતુલન
Equilibrium of Rigid body - દૃઢ પદાર્થનું સંતુલન
Equilibrium position - સંતુલન સ્થાન
Errors in measurement - માપનમાં ત્રુટિઓ
Escape speed - નિષ્ક્રમણ ઝડપ

# F

First law of Thermodynamics - થરમૉડાઇનેમિક્સનો પ્રથમ નિયમ
Fluid pressure - તરલ-દબાણ
Force - બળ
Forced frequency - પ્રણોદિત આવૃત્તિ
Forced oscillations - પ્રણોદિત દોલનો
Fracture point - ફ્રેક્ચર પૉઇન્ટ
Free Fall - મુક્ત પતન
Free-body diagram - ફ્રી-બોડી ડાયાગ્રામ
Frequency of periodic motion - આવર્તગતિની આવૃત્તિ
Friction - ઘર્ષણ
Fundamental Forces - મૂળભૂત બળો
Fundamental mode - મૂળભૂત મોડ (પ્રકાર)
Fusion - સંલયન

# G

Gauge pressure - ગેજ-દબાણ
Geocentric model - પૃથ્વી-કેન્દ્રિય મોડલ
Geostationary satellite - ભૂસ્થિર ઉપગ્રહ
Gravitational constant - ગુરુત્વાકર્ષણનો અચળાંક
Gravitational Force - ગુરુત્વીય બળ
Gravitational potential energy - ગુરુત્વીય સ્થિતિઊર્જા
Gravity waves - ગુરુત્વીય તરંગો

# H

Harmonic frequency - પ્રસંવાદી આવૃત્તિ
Harmonics - પ્રસંવાદી
Heat capacity - ઉષ્માધારિતા
Heat engines - ઉષ્મા-એન્જિન
Heat pumps - હીટપંપ
Heat - ઉષ્મા
Heliocentric model - સૂર્ય-કેન્દ્રિય મોડલ
Hertz - હર્ટ્ઝ
Hooke's law - હૂકનો નિયમ
Horizontal range - સમક્ષિતિજ અવધિ
Hot reservoir - ઉષ્માપ્રાપ્તિ-સ્થાન
Hydraulic brakes - હાઇડ્રોલિક બ્રેક્સ
Hydraulic lift - હાઇડ્રોલિક લિફ્ટ
Hydraulic machines - હાઇડ્રોલિક મશીન્સ
Hydraulic pressure - હાઇડ્રોલિક દબાણ
Hydraulic stress - હાઇડ્રોલિક પ્રતિબળ
Hydrostatic paradox - હાઇડ્રોસ્ટેટિક પેરાડોક્સ

# I

Ideal gas equation - આદર્શવાયુ સમીકરણ

Ideal gas - આદર્શ વાયુ

Impulse - આઘાત

Inelastic collision - અસ્થિતિસ્થાપક સંઘાત

Initial phase angle - પ્રારંભિક કળાકોણ

Instantaneous acceleration - તત્કાલીન પ્રવેગ

Instantaneous speed - તત્કાલીન ઝડપ

Instantaneous velocity - તત્કાલીન વેગ

Interference - વ્યતિકરણ

Internal energy - આંતરિક ઊર્જા

Irreversible engine - અપ્રતિવર્તી એન્જિન

Irreversible processes - અપ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા

Isobaric process - સમદાબ પ્રક્રિયા

Isochoric process - સમકદ પ્રક્રિયા

Isotherm - સમતાપ

Isothermal process - સમતાપી પ્રક્રિયા

# K

Kelvin-Planck statement - કેલ્વિન-પ્લાન્ક કથન

Kepler's laws of planetary motion - ગ્રહોની ગતિના કેપ્લરના નિયમો

Kinematics of Rotational Motion - શુદ્ધ ચાકગતિ વિજ્ઞાન

Kinematics - શુદ્ધ ગતિશાસ્ત્ર

Kinetic energy of rolling motion - રોલિંગ ગતિની ગતિઊર્જા

Kinetic Energy - યાંત્રિકઊર્જા

Kinetic interpretation of temperature - તાપમાનનું ગતિક અર્થઘટન

Kinetic theory of gases - વાયુનો ગતિવાદ

# L

Laminar flow - સ્તરીય વહન

Laplace correction - લાપ્લાસનો સુધારો

Latent heat of fusion - ગલનગુપ્ત ઉષ્મા

Latent heat of vaporisation - બાષ્પાયન ગુપ્ત ઉષ્મા

Latent heat - રૂપાંતરણની ઉષ્મા (ગુપ્ત ઉષ્મા)

Law of cosine - કોસાઇનનો નિયમ

Law of equipartition of energy - ઊર્જા સમવિભાજનનો નિયમ

Law of Inertia - જડત્વનો નિયમ

Law of sine - સાઇનનો નિયમ

Linear expansion - રેખીય પ્રસરણ

Linear harmonic oscillator - રેખીય પ્રસંવાદી દોલક

Linear momentum - રેખીય વેગમાન

Longitudinal strain - પ્રતાન (સંગત) વિકૃતિ

Longitudinal stress - પ્રતાન-પ્રતિબળ

Longitudinal Wave - સંગત તરંગ

# M

Magnus effect - મૅગ્નસ અસર

Manometer - મેનોમીટર

Mass Energy Equivalence - દળ-ઊર્જા સમતુલ્યતા

Maximum height of projectile - પ્રક્ષિપ્ત પદાર્થની મહત્તમ ઊંચાઈ

Maxwell Distribution - મૅક્સવેલ વિસ્તરણ

Mean free path - સરેરાશ મુક્તપથ

Measurement of length - લંબાઈનું માપન

Measurement of mass - દળનું માપન

Measurement of temperature - તાપમાનનું માપન

Measurement of time - સમયનું માપન

Melting point - ગલનબિંદુ

Modes - મૉડ્સ (પ્રકાર)

Modulus of elasticity - સ્થિતિસ્થાપકતા-અંક

Modulus of rigidity - દૃઢતા-અંક

Molar specific heat capacity at constant pressure - અચળ દબાણે મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્મા

Molar specific heat capacity at constant volume - અચળ કદે મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્મા

Molar specific heat capacity - મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્મા

Molecular nature of matter - દ્રવ્યનું આણ્વિક સ્વરૂપ

Moment of Inertia - જડત્વની ચાકમાત્રા

Momentum - વેગમાન

Motion in a plane - સમતલમાં ગતિ

Multiplication of vectors - સદિશોનો ગુણાકાર

Musical instruments - સંગીતનાં વાદ્યો

# N

Natural frequency - પ્રાકૃતિક આવૃત્તિ

Newton's first law of motion - ન્યૂટનનો ગતિનો પ્રથમ નિયમ

Newton's Law of cooling - ન્યૂટનનો શીતનનો નિયમ

Newton's law of gravitation - ન્યૂટનનો ગુરુત્વાકર્ષણનો નિયમ

Newton's second law of motion - ન્યૂટનનો ગતિનો બીજો નિયમ

Newton's third law of motion - ન્યૂટનનો ગતિનો ત્રીજો નિયમ

Newton's formula for speed of sound - ધ્વનિની ઝડપ માટેનું ન્યૂટનનું સૂત્ર

Nodes - નિસ્પંદ બિંદુઓ

Normal Modes - નૉર્મલ બિંદુ મોડ્સ

Note - સ્વર (સૂર)

Nuclear Energy - ન્યૂક્લિયર ઊર્જા

Null vector - શૂન્ય સદિશ

# O

Odd harmonics - એકીક્રમાંક હાર્મોનિક્સ

Orbital velocity/speed - કક્ષીય વેગ/ઝડપ

Order of magnitude - માનનો ક્રમ

Oscillations - દોલનો

Oscillatory motion - દોલિત ગતિ

# P

Parallax method - દૃષ્ટિ સ્થાનભેદની રીત

Parallelogram law of addition of vectors - સદિશોના સરવાળાનો સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણનો નિયમ

Pascal's law - પાસ્કલનો નિયમ

Path length - પથલંબાઈ

Path of projectile - પ્રક્ષિપ્તનો ગતિપથ

Periodic force - આવર્ત બળ

Periodic motion - આવર્ત ગતિ

Periodic time - આવર્તકાળ

Permanent set - કાયમી સ્થાપન

Phase angle - કળાકોણ

Phase constant - કળા-અચળાંક

Phase diagram - ફેઝ ડાયાગ્રામ

Pipe open at both ends - બંને છેડે ખુલ્લી નળી

Pipe open at one end - એક છેડે ખુલ્લી નળી

Pitch - સ્વર

Plastic deformation - પ્લાસ્ટિક વિરૂપણ

Plasticity - અસ્થિતિસ્થાપકતા

Polar satellite - ધ્રુવીય ઉપગ્રહ

Position vector and displacement - સ્થાનસદિશ અને સ્થાનાંતર

Potential energy of a spring - સ્પ્રિંગની સ્થિતિઊર્જા

Potential energy - સ્થિતિઊર્જા

Power - કાર્યત્વરા

Precession - સચોટતા

Pressure gauge - પ્રેશર ગેજ

Pressure of an ideal gas - આદર્શ વાયુનું દબાણ

Pressure pulse - દબાણ સ્પંદન

Pressure - દબાણ

Principle of Conservation of Energy - ઊર્જા-સંરક્ષણનો સિદ્ધાંત

Principle of moments - ચાકમાત્રાનો સિદ્ધાંત

Progressive wave - પ્રગામી તરંગ

Projectile motion - પ્રક્ષિપ્ત ગતિ

Projectile - પ્રક્ષિપ્ત

Propagation constant - પ્રસરણ અચળાંક

Pulse - સ્પંદન

# Q

Quasi-static process - કોસી (લગભગ) સ્થાયી પ્રક્રિયા

# R

Radial acceleration - ત્રિજ્યાવર્તી પ્રવેગ

Radiation - વિકિરણ

Radius of Gyration - ચક્રાવર્તન ત્રિજ્યા

Raman effect - રામન-અસર

Rarefactions - વિઘનન

Ratio of specific heat capacities - વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાઓનો ગુણોત્તર

Reaction time - પ્રતિક્રિયા-સમય

Real gases - વાસ્તવિક વાયુઓ

Rectilinear motion - સુરેખ ગતિ

Reductionism - લઘુકૃતીકરણ

Reflected wave - પરાવર્તિત તરંગ

Reflection of waves - તરંગોનું પરાવર્તન

Refracted wave - વક્રીભૂત તરંગ

Refrigerator - રેફ્રિજરેટર

Regelation - પુનઃધારણ

Relative velocity in two dimensions - દ્વિપરિમાણમાં સાપેક્ષ વેગ

Relative velocity - સાપેક્ષ વેગ

Resolution of vectors - સદિશોનું વિભાજન

Resonance - અનુનાદ

Restoring force - પુનઃસ્થાપક બળ

Reversible engine - પ્રતિવર્તી એન્જિન

Reversible processes - પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાઓ

Reynolds number - રેનોલ્ડ્સ અંક

Rigid body - દૃઢ પદાર્થ

Rolling motion - રોલિંગ ગતિ

Root mean square speed - સરેરાશ વર્ગિત ઝડપ

Rotation - ભ્રમણ (ચાકગતિ)

# S

S.H.M. (Simple Harmonic Motion) - સરળ આવર્તગતિ

Scalar-product - અદિશ ગુણાકાર

Scalars - અદિશો

Scientific Method - વૈજ્ઞાનિક પદ્ધતિ

Second law of Thermodynamics - થરમૉડાયનેમિક્સનો બીજો નિયમ

Shear modulus - આકાર સ્થિતિસ્થાપકતા અંક

Shearing strain - આકાર-વિકૃતિ

Shearing stress - સ્પર્શીય (આકાર) પ્રતિબળ

SI units - SI એકમો

Significant figures - સાર્થક અંકો
Simple pendulum - સાદું લોલક
Soap bubbles - સાબુના પરપોટા
Sonography - સોનોગ્રાફી
Sound - ધ્વનિ
Specific heat capacity of Solids - ઘન પદાર્થોની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા
Specific heat capacity of Gases - વાયુઓની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા
Specific heat capacity of Water - પાણીની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા
Specific heat capacity - વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા
Speed of efflux - નિષ્કાર્ષણ (બહાર ધકેલવાની) ઝડપ
Speed of Sound - ધ્વનિ-તરંગોની ઝડપ
Speed of Transverse wave on a stretched string - તણાવવાળી દોરી પર લંબગત તરંગની ઝડપ
Sphygmomanometer - સ્ફિગ્મોમેનોમીટર
Spring constant - સ્પ્રિંગ-અચળાંક
Standing waves - સ્થિત-તરંગો
Stationary waves - સ્થિત-તરંગો
Steady flow - સ્થાયી વહન
Stethoscope - સ્ટેથોસ્કૉપ
Stokes' law - સ્ટૉક્નો નિયમ
Stopping distance - સ્ટૉપિંગ ડિસ્ટન્સ
Strain - વિકૃતિ
Streamline flow - ધારારેખીય વહન
Streamline - ધારારેખાઓ
Stress - પ્રતિબળ
Stress-strain curve - પ્રતિબળ-વિકૃતિ વક્ર
Stretched string - તણાવવાળી દોરી
Sublimation - ઊર્ધ્વપાતન
Subtraction of vectors - સદિશોની બાદબાકી
Superposition principle - સંપાતપણાનો સિદ્ધાંત
Surface energy - પૃષ્ઠ-ઊર્જા
Surface tension - પૃષ્ઠતાણ
Symmetry - સંમિતિ
System of units - એકમ પદ્ધતિ
Systolic pressure - સિસ્ટોલિક દબાણ

# T

Temperature - તાપમાન
Tensile strength - તણાવ મજબૂતી
Tensile stress - તણાવ પ્રતિબળ
Terminal velocity - અંતિમ વેગ
Theorem of parallel axes - સમાંતર અક્ષોનો પ્રમેય
Theorem of perpendicular axes - લંબ-અક્ષોનો પ્રમેય
Thermal conductivity - ઉષ્માવાહકતા
Thermal equilibrium - ઉષ્મીય સંતુલન
Thermal expansion - ઉષ્મીય પ્રસરણ
Thermal stress - ઉષ્મીય પ્રતિબળ
Thermodynamic processes - થરમૉડાયનેમિક પ્રક્રિયા
Thermodynamic state variables - થરમૉડાયનેમિક અવસ્થા ચલો
Thermodynamics - થરમૉડાયનેમિક્સ
Time of flight - ઉડ્ડયન-સમય
Torque - ટૉર્ક
Torricelli's Law - ટોરિસિલિનો નિયમ
Trade wind - પારંપરિક પવન
Transmitted wave - પારગમિત તરંગ
Travelling wave - પ્રગામી તરંગ
Triangle law of addition of vectors - સદિશ સરવાળા માટે ત્રિકોણનો નિયમ

Triple point - ત્રિ-બિન્દુ

Trough - ગર્ત

Tune - સુમેળ સાધવો (સૂર મેળવવો.)

Turbulent flow - પ્રક્ષુબ્ધ વહન

## U

Ultimate strength - અંતિમ મજબૂતી

Ultrasonic waves - અલ્ટ્રાસોનિક તરંગો

Unification of Forces - બળોનું એકીકીકરણ

Unified Atomic Mass Unit - યુનિફાઇડ ઍટોમિક માસ યુનિટ

Uniform circular motion - નિયમિત વર્તુળાકાર ગતિ

Uniform Motion - નિયમિત ગતિ

Uniformly accelerated motion - નિયમિત પ્રવેગી ગતિ

Unit vectors - એકમ સદિશો

## V

Vaporisation - બાષ્પીકરણ

Vector-product - સદિશ ગુણાકાર

Vectors - સદિશો

Velocity amplitude - વેગ કંપવિસ્તાર

Venturi meter - વેન્ચુરિમીટર

Vibration - કંપન

Viscosity - શ્યાનતા

Volume expansion - કદ-પ્રસરણ

Volume Strain - કદ-વિકૃતિ

## W

Wave equation - તરંગ સમીકરણ

Wave length - તરંગલંબાઈ

Wave speed - તરંગઝડપ

Waves - તરંગો

Waxing and waning of sound - ધ્વનિનું મહત્તમ અને લઘુતમ થવું

Weak nuclear force - વીક ન્યુક્લિયર બળ

Weightlessness - વજનવિહીનતા

Work done by variable force - ચલબળ વડે થતું કાર્ય

Work - કાર્ય

Work-Energy Theorem - કાર્યઊર્જા-પ્રમેય

Working substance - કાર્યકારી પદાર્થ

## Y

Yield Point - આધીન બિંદુ

Yield strength - આધીન મજબૂતી

Young's modulus - યંગ મૉડ્યૂલસ

## Z

Zeroth law of Thermodynamics - થરમૉડાયનેમિક્સનો શૂન્ય ક્રમનો નિયમ

# નોંધ

# નોંધ