15. ध्वनी

थोडे आठवा. ध्वनी कसा निर्माण होतो ?

15.1 : नादकाटा

ध्वनीची निर्मिती (Production of Sound)

एखादी वस्तू कंप पावत असेल तर त्यापासून ध्वनीची निर्मिती होऊ शकते हे आपण शिकलो आहोत. अशा कंपनामुळे ध्वनी कसा निर्माण होतो हे आपण नादकाट्याचे (Tuning Fork) उदाहरण घेऊन समजून घेऊ या. नादकाट्याचे चित्र खालील आकृती 15.1 मध्ये दाखविले आहे.

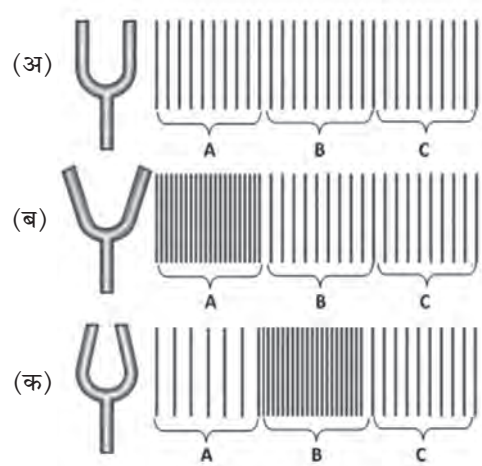
एक आधार व दोन भुजा असलेला, धातूपासून बनलेला हा नादकाटा आहे.

आकृती 15.2 (अ) मध्ये स्थिर नादकाटा दाखवला आहे. नादकाट्याच्या सभोवतालच्या हवेची स्थिती दाखविण्यासाठी उभ्या रेषांचा वापर केला आहे. इथे उभ्या रेषांमधील अंतर समान आहे. याचा अर्थ हवेतील वायूचे रेणू एकमेकांपासून सरासरी सारख्याच अंतरावर आहेत आणि त्यामुळे हवेचा सरासरी दाब A, B आणि C या तीनही ठिकाणी सारखाच आहे.

आधाराच्या मदतीने नादकाटा कडक रबरी तुकड्यावर आपटल्यावर भुजा कंप पावायला सुरुवात होते म्हणजेच त्यांची मागे-पुढे अशी नियतकालिक (periodic) हालचाल सुरू होते. या हालचालीमुळे काय होते ते आता टप्प्याटप्प्याने पाहूया.

कंप पावताना, आकृती 15.2 (ब) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे, नादकाट्याच्या भुजा एकमेकांपासून दूर गेल्यास भुजांलगतची बाहेरील हवा दाबली जाते व तेथील हवेचा दाब तुलनेने वाढतो.

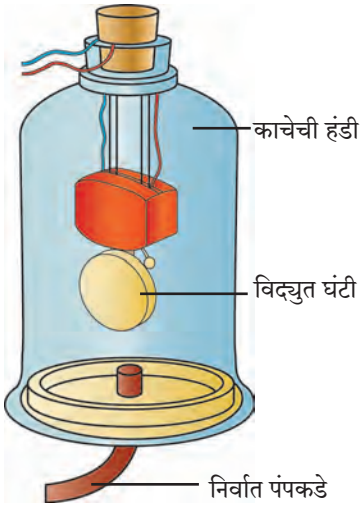
आकृतीत हवेतील भाग A याठिकाणी अशी उच्च दाबाची स्थिती निर्मिती होते. उच्च दाब आणि उच्च घनतेच्या या भागाला संपीडन (Compression) म्हणतात. कंपनाच्या पुढील स्थितीत नादकाट्याच्या भुजा एकमेकांच्या जवळ आल्यास, आकृती 15.2 (क) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे, भुजांलगतची बाहेरील हवा विरळ होते व तिथला (भाग A मधला) हवेचा दाब कमी होतो. कमी दाब आणि कमी घनतेच्या या भागाला विरलन (Rarefaction) असे म्हणतात.



15.2 : नादकाट्याद्वारे ध्वनीची निर्मिती

परंतु याच वेळेला आधीच्या संपीडन स्थितीतील हवेतील रेणूंनी (आकृती 15.2(ब), भाग A) आपली ऊर्जा पुढील भागातील रेणूंना (भाग B) दिल्यामुळे तेथील हवा संपीडन स्थितीत जाते (पहा आकृती 15.2(क), भाग B). भुजांच्या अशा प्रकारच्या सतत अतिशय वेगाने होणाऱ्या नियतकालिक हालचालीमुळे हवेत संपीडन व विरलन यांची मालिका निर्माण होते व नादकाट्यापासून दूरपर्यंत पसरत जाते. यालाच आपण ध्वनी तरंग (sound wave) असे म्हणतो. हे ध्वनीतरंग कानावर पडल्यास कानातील पडदा कंपित होतो व त्याद्वारे विशिष्ट संदेश मेंदूपर्यंत पोहोचून आपल्याला ध्वनी ऐकल्याची जाणीव होते.

जरा डोके चालवा. हवेत ध्वनीतरंग निर्माण झाल्यास हवा पुढे पुढे जाते की हवेचे रेणू जागच्या जागी पुढे-मागे होत राहून फक्त संपीडन व विरलन स्थिती पुढील हवेत निर्माण होत जाते? असे का होते ?



15.3 : ध्वनी प्रसारणासाठी माध्यमाची आवश्यकता असते.

ध्वनी प्रसारण आणि माध्यम (Propagation of Sound and Medium) : मागील इयत्तेमध्ये आपण शिकलो आहोत की हवा, पाणी किंवा स्थायूसारख्या एखाद्या माध्यमातून लहरींच्या रूपाने प्रवास करून ध्वनी आपल्या कानांपर्यंत पोहोचतो. परंतु ध्वनीचा स्रोत आणि आपला कान यांच्यामध्ये याप्रकारचे माध्यम नसेल तर काय होईल ?

ध्वनीच्या निर्मितीसाठी आणि प्रसारणासाठी हवेसारख्या माध्यमाची आवश्यकता असते, हे प्रयोगाने सिद्ध करता येते. प्रयोगाची रचना आकृती 15.3 मध्ये दाखविली आहे. या रचनेत काचेची एक हंडी (Bell jar) सपाट पृष्ठभागावर ठेवली आहे. एका नळीमार्फत ही हंडी एका निर्वात-पंपाला (Vacuum-pump) जोडली आहे. निर्वात-पंपाच्या साहाय्याने आपण हंडीतील हवा बाहेर काढू शकतो. आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे, हंडीमध्ये एक विद्युत-घंटी (Electric bell) असून तिची जोडणी हंडीच्या झाकणाद्वारे केलेली आहे.

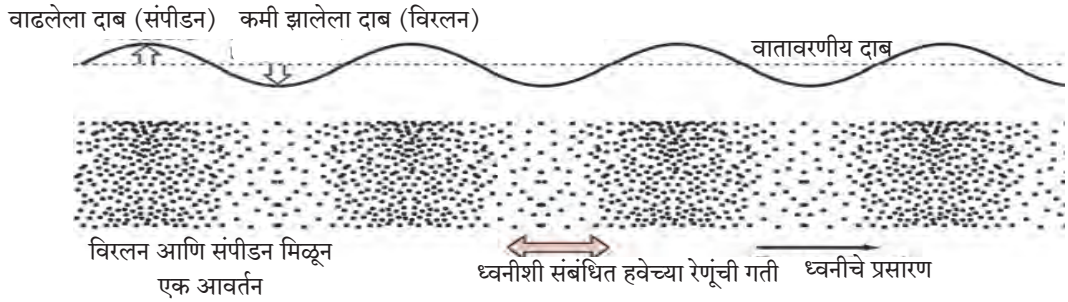
प्रयोगाच्या सुरवातीला निर्वात पंप बंद असताना काचेच्या हंडीत हवा असेल. यावेळी, विद्युत घंटीची कळ दाबली असता, तिचा आवाज हंडीच्या बाहेर ऐकू येईल. आता निर्वात-पंप सुरू केल्यास, हंडीतील हवेचे प्रमाण कमी कमी होत जाईल. हवेचे प्रमाण जसे जसे कमी होईल, तशी तशी विद्युत-घंटीच्या आवाजाची पातळीही कमी कमी होत जाईल. निर्वात पंप बऱ्याच वेळ चालू ठेवल्यास हंडीतील हवा खूपच कमी होईल. अशा वेळी विद्युतघंटीचा आवाज अत्यंत क्षीण असा ऐकू येईल. या प्रयोगावरून हे सिध्द होते की ध्वनीच्या निर्मितीसाठी आणि प्रसारणासाठी माध्यमाची आवश्यकता असते. आपण जर हंडीतील हवा पूर्णपणे बाहेर काढू शकलो, तर विद्युतघंटीचा आवाज आपल्याला ऐकू येईल का ?

हे नेहमी लक्षात ठेवा.

चंद्रावर गेलेले दोन अंतराळवीर अगदी एकमेकांच्या जवळ उभे राहून बोलले तरी त्यांना एकमेकांचे बोलणे ऐकू येणार नाही. चंद्रावर हवा नाही. ध्वनी प्रसारणासाठी आवश्यक माध्यम दोन अंतराळवीरांमध्ये नसल्याने त्यांच्यामध्ये माध्यमामार्फत होणारे ध्वनी प्रसारण होऊ शकत नाही. यामुळे ते अंतराळवीर भ्रमणध्वनीसारखे तंत्रज्ञान वापरून एकमेकांशी संवाद साधतात. भ्रमणध्वनीमध्ये वापरण्यात येणाऱ्या विशिष्ट लहरींना प्रसारणासाठी कुठल्याही माध्यमाची गरज नसते.

ध्वनी तरंगांची वारंवारिता (Frequency of Sound Waves)

आकृती 15.2 मध्ये नादकाट्याच्या कंपनामुळे हवेत संपीडन व विरलन कसे निर्माण होतात हे आपण पाहिले. अधिक सुक्ष्म रीतीने पाहिल्यास हवेची घनता आणि दाबातील बदल खालील आकृती 15.4 मध्ये दाखविल्याप्रमाणे असेल. कुठलीही वस्तू हवेत कंप पावल्यास हवेत अशा प्रकारचे ध्वनीतरंग निर्माण होतात.



15.4 : ध्वनीतरंगातील विरलन आणि संपीडन यांची आवर्तने व हवेच्या दाबातील बदल

आकृती 15.4 मध्ये दाखविल्याप्रमाणे विरलन आणि संपीडन मिळून तरंगाचे एक आवर्तन (Cycle) होते. एका सेकंदात नादकाट्याच्या भुजा जितक्या वेळा पुढे-मागे होतील तितकी आवर्तने एका सेकंदात हवेत तयार होतील.

एका सेकंदात हवेत (किंवा इतर माध्यमात) निर्माण होणाऱ्या एकूण आवर्तनांची संख्या म्हणजेच त्या ध्वनितरंगाची वारंवारिता (Frequency). वारंवारिता हर्ट्झ (Hz) या एककात मोजली जाते. जर एका सेकंदात एक कंपन झाले तर त्या कंपनाची वारंवारिता 1 Hz एवढी असते. उदाहरणार्थ, आकृतीत दाखविलेला नादकाटा एका सेकंदात 512 वेळा कंप पावतो. या नादकाट्याच्या कंपनामुळे एका सेकंदात 512 आवर्तने निर्माण होतील. त्यामुळे त्यापासून निर्माण होणाऱ्या ध्वनीची वारंवारिता 512 Hz एवढी असेल. एखादा नादकाटा किती वारंवारितेने कंप पावेल हे त्याच्या भुजांचा आकार (लांबी, जाडी) आणि तो नादकाटा कोणत्या पदार्थापासून बनला आहे यांवर अवलंबून असते.

करून पहा

काचेचे 6-7 ग्लास घ्या. ते ओळीत मांडून, त्यांमध्ये क्रमाक्रमाने वाढत्या पातळीचे पाणी भरा. एक पेन्सिल घेऊन त्यांच्यावर क्रमाक्रमाने आघात करा. प्रत्येक ग्लासपासून निर्माण होणारा ध्वनी वेगवेगळा असेल. असे का ?

प्रत्येक ग्लासावर आघात केल्यावर त्यात असलेल्या हवेच्या स्तंभात तरंग निर्माण होतात. हवेच्या स्तंभाच्या उंचीनुसार या तरंगाची वारंवारिता बदलते. प्रत्येक ग्लासात पाण्याची पातळी वेगवेगळी असल्याने त्यामधील हवेच्या स्तंभाची उंचीही वेगवेगळी असते. यामुळे तो ग्लास कंप पावल्यावर निर्माण होणाऱ्या ध्वनीची वारंवारिता विशिष्ट असते. त्यामुळे त्यांपासून निर्माण होणारा ध्वनीही वेगवेगळा असतो.

जोड माहिती संप्रेषण तंत्रज्ञानाची

यू-ट्यूब वरून जलतरंगाचे व्हिडिओ डाऊनलोड करा व इ-मेलद्वारे तुमच्या मित्रांना पाठवा.

ध्वनीची वारंवारिता मोजणारे ॲप (App) भ्रमणध्वनीवर उपलब्ध होऊ शकते. आपल्या शिक्षकांच्या साहाय्याने त्याचा वापर करून वेगवेगळ्या ग्लासापासून निघणाऱ्या ध्वनीची वारंवारिता मोजा. ग्लासातील हवेच्या स्तंभाची उंची आणि ध्वनीची वारंवारिता यांचा काही संबंध दिसतो का ? हे झाले तुमचे सोपे जलतरंग वाद्य ! वेगवेगळ्या आकाराची स्टीलची भांडी घेऊनही हा प्रयोग करता येईल का ?

ध्वनी आणि संगीत (Sound and Music)

वरील कृतीतून हे समजते की ध्वनीतरंगांची वारंवारिता बदलली की निर्माण होणारा ध्वनी वेगवेगळा असतो. ध्वनीतरंगांच्या वेगवेगळ्या वारंवारितेमुळे वेगवेगळ्या स्वरांची निर्मिती होते. संगीतामध्ये स्वरनिर्मितीसाठी वेगवेगळ्या प्रकारच्या वाद्यांचा उपयोग केला जातो. यामध्ये सतार, व्हायोलीन, गिटार यांसारख्या तंतुवाद्यांचा, त्याचप्रमाणे बासरी, सनई यांसारख्या फुंकवाद्यांचा वापर होतो. गळ्यामधूनही वेगवेगळे स्वर निर्माण करता येतात.

तंतुवाद्यांमध्ये वापरलेल्या तारांवरचा ताण कमी-जास्त करून तसेच तारेच्या कंप पावणाऱ्या भागाची लांबी बोटांनी कमी-जास्त करून कंपनांची वारंवारिता बदलली जाते. यामुळे निरनिराळ्या स्वरांची निर्मिती होते.

बासरीसारख्या फुंकवाद्यात बोटांनी बासरीवरची छिद्रे दाबून किंवा मोकळी करून, बासरीतील कंप पावणाऱ्या हवेच्या स्तंभाची लांबी कमी-जास्त केली जाते. त्यामुळे कंपनाच्या वारंवारितेमध्ये बदल होऊन निरनिराळ्या स्वरांची निर्मिती होते. याचप्रमाणे बासरीवादनासाठी वापरलेली फुंक बदलूनही वेगळ्या स्वरांची निर्मिती होते.

माहीत आहे का तुम्हांला ?

मध्य सप्तकातील सा, रे, ग, म, प, ध, नि या सप्त सुरांच्या वारंवारिता काय आहेत ?

स्वर	वारंवारिता (Hz)
सा	256
रे	280
ग	312
म	346
प	384
ध	426
नि	480

निरीक्षण करा व चर्चा करा.

विविध वाद्ये ओळखा व ध्वनिनिर्मितीची चर्चा करा.

करून पहा

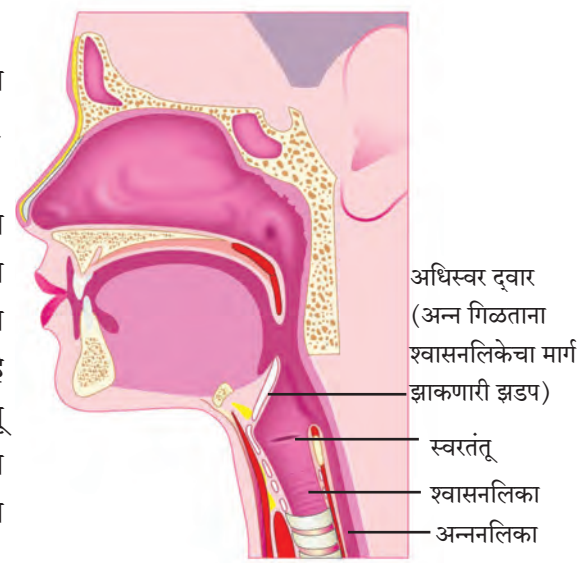
वेगवेगळ्या स्वरांची निर्मिती करणारे ॲप (Sound note generator app) भ्रमणध्वनीवर उपलब्ध होऊ शकते. आपल्या शिक्षकांच्या साहाय्याने त्याचा वापर करून वेगवेगळ्या स्वरांची निर्मिती करा.

मानवनिर्मित ध्वनी (Sound Produced by Human)

थोडे मोठ्याने बोला किंवा गाणे म्हणा किंवा मधमाशीसारखा गुंजारव काढा आणि आपल्या एका हाताची बोटे घशावर ठेवा. तुम्हांला काही कंपने जाणवतात का ?

मानवामध्ये ध्वनी हा स्वरयंत्रामध्ये निर्माण होतो. घास गिळताना आपल्या हाताची बोटे घशावर ठेवल्यास काहीसा हालणारा एक उंचवटा तुम्हांला जाणवेल. हेच ते स्वरयंत्र (Larynx). आकृती 15.5 मध्ये दाखविल्याप्रमाणे हे श्वासनलिकेच्या वरच्या बाजूस असते. त्यामध्ये दोन स्वरतंतू (Vocal Cords) असतात. या स्वरतंतूंमध्ये असलेल्या जागेतून हवा श्वासनलिकेत जाऊ शकते. फुफ्फुसातील हवा जेव्हा या जागेतून जाते तेव्हा स्वरतंतू कंप पावतात व ध्वनीची निर्मिती होते. स्वरतंतूंना जोडलेले स्नायू या तंतूंवरील ताण कमी जास्त करू शकतात. स्वरतंतूंवरील ताण वेगवेगळा असल्यास निर्माण होणारा ध्वनीही वेगळा असतो.

सायकलच्या निरुपयोगी ट्यूबपासून रबराचे दोन सारख्या आकाराचे तुकडे कापा. दोन्ही तुकडे एकमेकांवर ठेवून त्यांची दोन टोके विरुद्ध बाजूस ताणा. त्यांच्यामध्ये असलेल्या जागेतून फुंका. ताणलेल्या रबराच्या तुकड्यांमधून हवा वाहू लागताच ध्वनी निर्माण होतो. मानवी स्वरयंत्राचे कार्य अशाच प्रकारे चालते.



15.5 : मानवी स्वरयंत्र

पुरुषांचे स्वरतंतू जवळपास 20 mm लांब असतात. स्त्रियांमध्ये त्यांची लांबी 15 mm असते. लहान मुलांमध्ये तर ते अजून लहान असतात. यामुळेच पुरुष, स्त्रिया आणि लहान मुले यांचा आवाज वेगवेगळ्या पट्टीचा असतो.

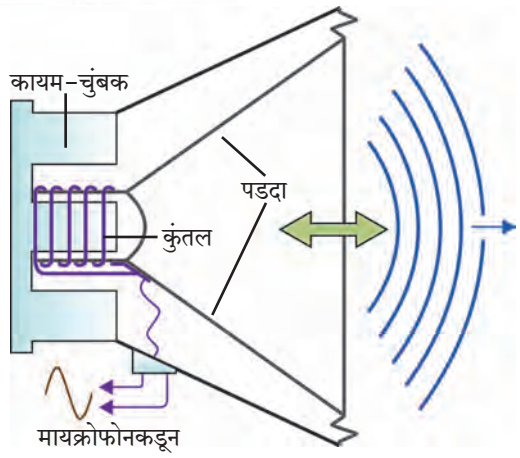
करून पहा

कुत्र्याचा भुंकण्याचा 'भो...भो' असा आवाज मांजरीचा 'म्यावं...म्यावं' असा आवाज काढा; परंतु हे आवाज काढताना स्वरतंतूंवर पडत असलेल्या ताणाकडेही लक्ष द्या. हे दोन वेगवेगळे आवाज काढताना स्वरतंतूंवर पडत असलेला ताण बदलतो, हे तुम्हांला जाणवते का ?

ध्वनिक्षेपकापासून ध्वनी निर्मिती
(Sound generation by loudspeaker)

ध्वनिक्षेपकापासूनही आवाजाची निर्मिती होते हे तुम्हाला माहित आहे. ध्वनिक्षेपकाची अंतर्गत रचना आडव्या छेदाच्या रूपात (Cross section) आकृती 15.6 मध्ये दाखविली आहे. यामध्ये एक कायमचुंबक (Permanent magnet) असतो. त्याच्याभोवती गुंडाळलेल्या कुंतलातून (Coil) विद्युतप्रवाह प्रवाहित झाल्यास, त्यामुळेही चुंबकीय क्षेत्र तयार होते, हे तुम्ही मागील पाठात जाणले आहे.

दोन चुंबक एकमेकांजवळ आणल्यास त्यांच्या स्थितीनुसार त्यांची हालचाल होते, हे तुम्ही पाहिलेच असेल. अशाच प्रकारे, इथे कुंतलाद्वारे निर्माण झालेल्या चुंबकीय क्षेत्रानुसार ते कुंतल मागे-पुढे हलू लागते. कुंतलाचे हे हलणे, म्हणजेच त्याची वारंवारिता आणि आयाम, त्यातून वाहणारा विद्युत प्रवाह कशाप्रकारे बदलत आहे, त्यावर अवलंबून असते. याच कुंतलाला जोडलेल्या ध्वनिक्षेपकाच्या पडद्याची मागे पुढे हालचाल होवू लागते.



15.6 ध्वनिक्षेपकाची अंतर्गत रचना

आपण यापूर्वी पाहिले आहे की, नादकाट्याच्या भुजांच्या मागे-पुढे होणाऱ्या हालचालीमुळे हवेत ध्वनीतरंग निर्माण होतात. याचप्रकारे, येथे ध्वनिक्षेपकाच्या पडद्याच्या मागे-पुढे अशा होणाऱ्या हालचालीमुळे हवेत ध्वनीतरंग निर्माण होतात.

ध्वनी निर्मिती करत असलेल्या एखाद्या ध्वनिक्षेपकाच्या पडद्याला हलकासा स्पर्श करून या पडद्याच्या कंपनांचा अनुभव तुम्ही घेऊ शकता.

ध्वनिक्षेपकाचा वापर करून खूप मोठ्या पातळीचा आवाज निर्माण केला जाऊ शकतो. म्हणून सार्वजनिक ठिकाणी ध्वनिक्षेपकाचा वापर केला जातो. परंतु आपण मागील इयत्तेत शिकलो आहोत की ध्वनीची पातळी सुमारे 100 डेसिबेल पेक्षा जास्त असल्यास तो ध्वनी आपल्याला त्रासदायक ठरू शकतो. म्हणूनच ध्वनिक्षेपकाची क्षमता जरी उच्च पातळीचा ध्वनी निर्माण करण्याची असली तरी त्यावर मर्यादा ठेवणे आवश्यक ठरते.

करून पहा

भ्रमण ध्वनीवर ध्वनीची पातळी डेसिबेल या एककात मोजण्यासाठी ॲप उपलब्ध होऊ शकते. त्याचा वापर करून, आपल्या शिक्षकांच्या साहाय्याने सार्वजनिक ठिकाणी वापरण्यात येत असलेल्या एखाद्या ध्वनिक्षेपकातून येणाऱ्या आवाजाची पातळी मोजून पाहा. ध्वनिक्षेपकापासून वेगवेगळ्या अंतरावर उभे राहून आवाजाची पातळी मोजा. ध्वनिक्षेपकापासून अंतर आणि आवाजाची पातळी यांचा काही संबंध तुम्हांला आढळतो का ?

हे नेहमी लक्षात ठेवा.

ध्वनी व ध्वनिनिर्मितीचा अभ्यास करताना निर्माण होणाऱ्या ध्वनीचा इतरांना त्रास होऊ नये. याची आपण काळजी घेतली पाहिजे. पर्यावरणाला हानी पोहोचवणाऱ्या व सामाजिक आरोग्य बिघडवणाऱ्या प्रमुख कारणांमध्ये ध्वनी प्रदूषणाचा समावेश होतो. त्यामुळे ध्वनी प्रदूषण टाळण्यासाठी प्रयत्न केले पाहिजे.

स्वाध्याय

1. **रिकाम्या जागी योग्य शब्द भरा.**
   अ. ध्वनी तरंगातील उच्च दाब आणि घनतेच्या भागाला ..... म्हणतात. तर कमी दाब व घनतेच्या भागाला ..... म्हणतात.
   आ. ध्वनीच्या निर्मितीला माध्यमाची गरज .....
   इ. एका ध्वनीतरंगात एका सेकंदात तयार होणाऱ्या विरलन आणि संपीडन यांची एकूण संख्या १००० इतकी आहे. या ध्वनीतरंगाची वारंवारिता ..... Hz इतकी असेल.
   ई. वेगवेगळ्या स्वरांसाठी ध्वनी तरंगाची ..... वेगवेगळी असते.
   उ. ध्वनिक्षेपकामध्ये ..... ऊर्जेचे रूपांतर ..... ऊर्जेमध्ये होते.
2. **शास्त्रीय कारणे सांगा.**
   अ. तोंडाने वेगवेगळे स्वर काढताना स्वरतंतूंवरचा ताण बदलणे आवश्यक असते.
   आ. चंद्रावरील अंतराळवीरांचे बोलणे एकमेकांना प्रत्यक्ष ऐकू येऊ शकत नाही.
   इ. ध्वनीतरंगाचे हवेतून एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणाकडे प्रसारण होण्यासाठी त्या हवेचे एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी वहन होण्याची आवश्यकता नसते.
3. **गिटारसारख्या तंतूवाद्यातून आणि बासरीसारख्या फुंकवाद्यातून वेगवेगळ्या स्वरांची निर्मिती कशी होते ?**
4. **मानवी स्वरयंत्रापासून आणि ध्वनिक्षेपकापासून ध्वनी कसा निर्माण होतो ?**
5. **'ध्वनीच्या प्रसारणासाठी माध्यमाची गरज असते.' हे सिद्ध करण्यासाठी प्रयोग आकृतीसह स्पष्ट करा.**
6. **योग्य जोड्या जुळवा.**

मानवी स्वरयंत्र	धातूच्या भुजांची कंपने
ध्वनिक्षेपक	हवेच्या स्तंभातील कंपने
जलतरंग	स्वरतंतुंची कंपने
नादकाटा	तारेची कंपने
तानपुरा	पडद्याची कंपने

उपक्रम :

1. प्लॅस्टिकचे दोन ग्लास घेऊन त्यांच्यामध्ये दोरी बांधून खेळातला फोन बनवा. आपल्या मित्र/मैत्रिणीचा आवाज दोरीमार्फत आपल्यापर्यंत पोहोचतो का ? दोरीच्या ऐवजी लोखंडी तार घेऊन आणि दोरी / तार यांची लांबी कमी/जास्त करून हा प्रयोग करा व निष्कर्ष काढा. याविषयी एकमेकांत व शिक्षकांशी चर्चा करा.
2. एक प्लॅस्टिक अथवा पत्र्याचा उभा ग्लास घेऊन त्याचा तळ काढा. एका उघड्या बाजूवर रबरच्या साहाय्याने फुग्याचे रबर ताणून घट्ट बसवा व त्यावर नाचणी, बाजरीसारखे छोटे दाणे ठेवा. दुसऱ्या उघड्या बाजूकडून आपल्या मित्राला 'हुर्रेऽऽ...हुर्रेऽऽ' असे ओरडायला सांगा. रबरावरचे दाणे खाली/वर उड्या मारताना दिसतात का ? असे का होते याबाबत चर्चा करा.

JDYNNR