5. उष्णता

- अप्रकट उष्मा
- पाण्याचे असंगत आचरण
- विशिष्ट उष्मा धारकता
- पुनर्हिमायन
- दवबिंदू तापमान आणि आर्द्रता

थोडे आठवा.

1. उष्णता व तापमान यांमध्ये काय फरक आहे?
2. उष्णता संक्रमणाचे प्रकार किती व कोणते आहेत?

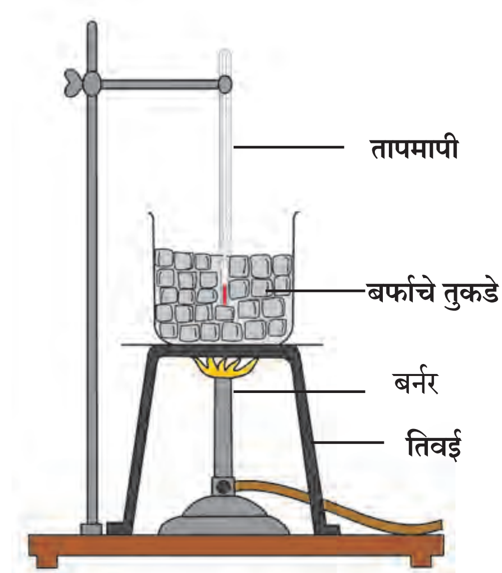
मागील इयत्तांमध्ये आपण उष्णता आणि उष्णता संक्रमणाच्या विविध प्रकारांची माहिती घेतली आहे. स्थायू पदार्थांचे, द्रव पदार्थांचे व वायुंचे आकुंचन व प्रसरण कसे होते याविषयी काही प्रयोगही आपण करून पाहिले आहेत. उष्णता व तापमान यांतील फरकही समजून घेतला आहे. तापमापीने तापमान कसे मोजतात हेही अभ्यासले आहे.

पदार्थांच्या अवस्थांतरणात आढळणारा अप्रकट उष्मा, पाण्याचे असंगत आचरण, दवबिंदू तापमान, आर्द्रता, विशिष्ट उष्माधारकता या सर्व संकल्पनांचा आपल्या दैनंदिन जीवनात वापर होत असतो. त्याविषयी अधिक माहिती घेऊ.

अप्रकट उष्मा (latent heat)

करून पाहूया.

1. आकृती 5.1 मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एका काचेच्या भांड्यात बर्फाचे काही तुकडे घ्या.
2. तापमापीचा फुगा बर्फामध्ये पूर्णपणे बुडेल असा ठेवून तापमापीने बर्फाचे तापमान मोजा.
3. बर्फाचे भांडे तिवई वर ठेवून बर्फाला उष्णता द्या.
4. प्रत्येकी एक मिनिटाच्या अंतराने तापमानाची नोंद करा.
5. उष्णता देणे चालू असताना बर्फ हळूहळू वितळू लागेल, बर्फ वितळत असताना बर्फ व पाणी यांचे मिश्रण ढवळत रहा.
6. पाणी उकळायला लागल्यानंतरही काही काळ उष्णता देणे चालू ठेवा.
7. तापमानात होणारा बदल व वेळ (काल) यांचा संबंध दर्शविणारा आलेख काढा.



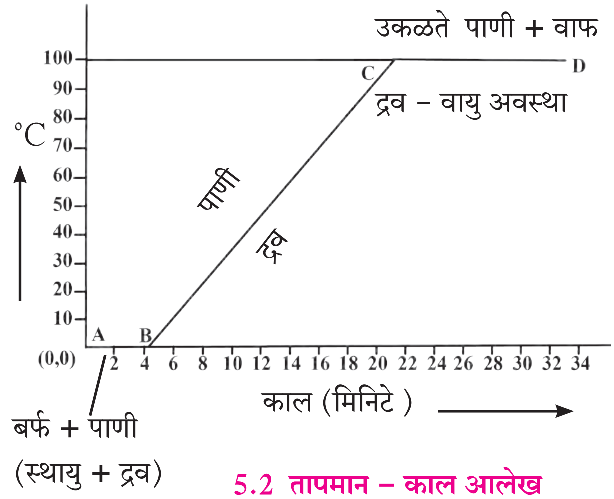
5.1 अप्रकट उष्मा

जोपर्यंत बर्फाच्या सर्व तुकड्यांचे पाणी होत नाही तोपर्यंत मिश्रणाचे तापमान 0 °C एवढेच राहील. पूर्ण बर्फाचे पाणी झाल्यानंतरही उष्णता देणे चालू ठेवले तर पाण्याचे तापमान वाढू लागेल व पाण्याचे तापमान 100 °C पर्यंत जाईल. या तापमानाला पाण्याचे रूपांतर मोठ्या प्रमाणात वाफेत होऊ लागते. सर्व पाण्याचे वाफेत रूपांतर होत असताना पाण्याचे तापमान 100 °C ला स्थिर राहते. तापमानात होणारा बदल व त्याला लागणारा वेळ यांचा संबंध दर्शविणारा आलेख आकृती 5.2 प्रमाणे असेल.

या आलेखात रेख AB स्थिर तापमानाला, बर्फाचे पाण्यात रूपांतर होण्याची क्रिया दर्शविते. बर्फाला उष्णता दिली असता बर्फ एका विशिष्ट तापमानाला म्हणजे 0 °C ला वितळून त्याचे पाण्यात रूपांतर होऊ लागते. हा बदल होत असताना बर्फ उष्णतेचे शोषण करतो. हे उष्णतेचे शोषण बर्फाचे पूर्णपणे द्रवात रूपांतर होईपर्यंत चालू राहते.

यादरम्यान मिश्रणाचे तापमान स्थिर राहते. ज्या स्थिर तापमानाला बर्फाचे पाण्यात रूपांतर होते त्या तापमानाला बर्फाचा द्रवणांक म्हणतात.

पदार्थाचे स्थायू अवस्थेतून द्रवरूप अवस्थेत रूपांतरण होत असताना पदार्थ म्हणजेच येथे बर्फ हा उष्णतेचे शोषण करतो परंतु त्याच्या तापमानात वाढ होत नाही. या सर्व शोषलेल्या उष्णतेचा उपयोग अणू रेणूंमधील बंध कमकुवत करून स्थायूचे द्रवात रूपांतर करण्यासाठी होतो स्थायूचे द्रवात रूपांतर होत असताना स्थिर तापमानाला जी उष्णता शोषली जाते तिला वितळणाचा अप्रकट उष्मा (Latent heat of melting) असे म्हणतात.



5.2 तापमान – काल आलेख

एकक वस्तुमानाच्या स्थायू पदार्थाचे द्रवामध्ये पूर्णपणे रूपांतर होत असताना स्थिर तापमानावर जी उष्णता स्थायूत शोषली जाते त्या उष्णतेला वितळणाचा विशिष्ट अप्रकट उष्मा (Specific latent heat of melting) म्हणतात.

बर्फाचे पाण्यामध्ये पूर्ण रूपांतर झाल्यानंतर पाण्याचे तापमान वाढू लागते, ते 100°C पर्यंत वाढते. रेख BC ही पाण्याच्या तापमानातील 0 °C ते 100 °C अशी वाढ दर्शिविते. त्यानंतर मात्र उष्णता देऊनही पाण्याचे तापमान वाढत नाही. या तापमानाला शोषलेली सर्व उष्णता या द्रवामधील रेणूंचे बंध तोडण्यासाठी आणि द्रवाचे वायुरूप स्थितीत रूपांतर करण्यासाठी वापरली जाते. द्रवाचे रूपांतर वायूमध्ये होत असताना उष्णता शोषली जाते परंतु त्याच्या तापमानात वाढ होत नाही. ज्या स्थिर तापमानाला द्रवाचे रूपांतर वायूमध्ये होते त्या तापमानाला द्रवाचा उत्कलनांक म्हणतात. स्थिर तापमानास द्रवाचे रूपांतर वायूमध्ये होत असताना शोषल्या गेलेल्या उष्णतेस बाष्पनाचा अप्रकट ऊष्मा (Latent heat of vaporisation) म्हणतात.

एकक वस्तुमानाच्या द्रव पदार्थाचे वायूमध्ये पूर्ण रूपांतर होत असताना स्थिर तापमानावर जी उष्णता द्रवात शोषली जाते त्या उष्णतेला बाष्पनाचा विशिष्ट अप्रकट उष्मा (Specific latent heat of vaporisation) असे म्हणतात.

वेगवेगळ्या पदार्थांचे द्रवणांक वेगवेगळे असतात, त्याचप्रमाणे वेगवेगळ्या पदार्थांचे उत्कलनांकही वेगवेगळे असतात. हवेचा दाब समुद्रसपाटीवरील हवेच्या दाबापेक्षा कमी किंवा अधिक असेल तर द्रवणांक, उत्कलनांक व अप्रकट उष्मा बदलतात. खालील सारणीमध्ये ते समुद्रसपाटीवरील हवेच्या दाबास मोजले आहेत.

पदार्थ	द्रवणांक ^{0}C	उत्कलनांक ^{0}C	वितळणाचा विशिष्ट अप्रकट उष्मा		बाष्पनाचा विशिष्ट अप्रकट उष्मा	
			kJ/kg	cal/g	kJ/kg	cal/g
पाणी/बर्फ	0	100	333	80	2256	540
तांबे	1083	2562	134	49	5060	1212
इथील अकोल्होल	-117	78	104	26	8540	200
सोने	1063	2700	144	15.3	1580	392
चांदी	962	2162	88.2	25	2330	564
शिसे	327.5	1749	26.2	5.9	859	207

जरा डोके चालवा.

1. अप्रकट उष्मा ही संकल्पना वायुचे द्रवात किंवा द्रवाचे स्थायूत रूपांतर होताना सुद्धा लागू होईल का?
2. द्रवाचे स्थायूत रूपांतर होत असताना किंवा वायूचे द्रवात रूपांतर होत असताना अप्रकट उष्म्याचे काय होत असेल?

पुनर्हिमायन (Regelation)

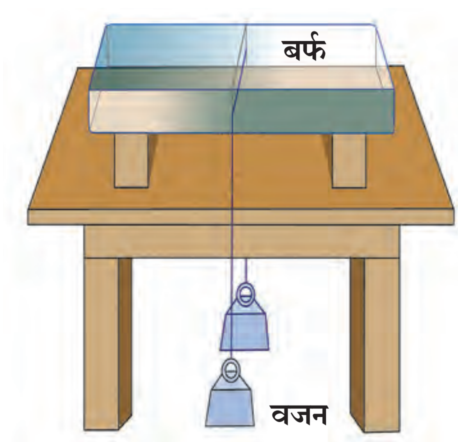
बर्फाचा गोळा तयार करताना तुम्ही पाहिले असेल. बर्फ किसून काडीच्या टोकाशी हाताने दाबून गोळा बनविला जातो. हा किसलेला बर्फ पुन्हा घट्ट गोळा कसा बनतो? बर्फाचे दोन खडे घेऊन एकमेकांवर दाबून धरल्यास काही वेळाने ते खडे एकमेकांना घट्ट चिकटतात. हे कशामुळे घडते?

करून पाहूया. **साहित्य :** बर्फाची एक लहान लादी, बारीक तार, दोन समान वजने, इत्यादी.

कृती :

1. आकृती 5.3 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे बर्फाची लादी स्टॅण्डवर ठेवा.
2. एका तारेच्या दोन्ही टोकास दोन समान वजने बांधून तार बर्फाच्या लादीवर ठेवा. निरीक्षण करा. काय घडते?

तारेच्या दोन्ही टोकास समान वजने बांधून बर्फाच्या लादीवर ठेवल्यास तार हळूहळू बर्फाच्या लादीत रुतत खोलवर जाते. काही वेळाने बर्फाच्या लादीतून बाहेर पडते. तरीही बर्फ तुटत नाही. दाबामुळे बर्फाचे वितळणे व दाब काढून घेतल्यास त्याचा पुन्हा बर्फ होणे या प्रक्रियेला **पुनर्हिमायन** असे म्हणतात. दाबामुळे बर्फाचा द्रवणांक शून्यापेक्षा कमी होतो.म्हणजेच 0 ^{0}C तापमानास बर्फ पाण्यात रुपांतरित होतो. दाब काढून घेताच द्रवणांक पूर्ववत होतो, म्हणजे 0 ^{0}C होतो व पाण्याचे पुन्हा बर्फात रुपांतरण होते.



5.3 पुनर्हिमायन

जरा डोके चालवा.

1. वरील कृतीत बर्फाच्या लादीतून तार बाहेर पडते. तरीही बर्फ तुटत नाही, असे का होते?
2. अप्रकट उष्म्याचा पुनर्हिमायनाशी काय संबंध आहे?
3. समुद्रसपाटीपासून उंच ठिकाणी गेल्यास पाण्याचा उत्कलनांक कमी होतो हे तुम्हाला माहीत आहे. या स्थितीत पदार्थाच्या द्रवणांकात काय बदल होईल?

सांगा पाहू ! पदार्थ थंड आहे की उष्ण, या संवेदनेचा आपल्या शरीर तापमानाशी काय संबंध आहे?

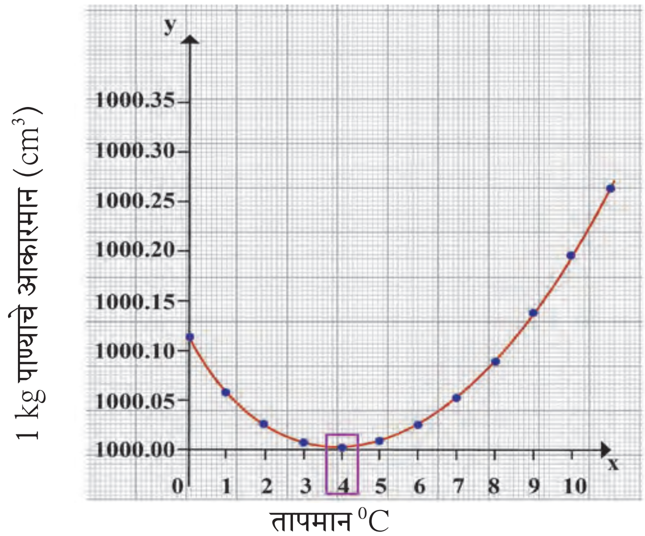
पाण्याचे असंगत आचरण (Anomalous behaviour of water)

सर्वसाधारणपणे द्रव मर्यादित तापमानापर्यंत तापविल्यास त्याचे प्रसरण होते व थंड केल्यास त्याचे आकुंचन होते. परंतु पाणी वैशिष्ट्यपूर्ण व अपवादात्मक आचरण दाखविते. 0 °C तापमानाचे पाणी तापविले असता, 4 °C तापमान होईपर्यंत त्याचे प्रसरणाऐवजी आकुंचन होते. 4 °C ला पाण्याचे आकारमान सर्वात कमी असते आणि 4 °C च्या पुढे तापमान वाढविल्यास पाण्याचे आकारमान वाढत जाते. 0 °C ते 4 °C या तापमानादरम्यान असणाऱ्या पाण्याच्या आचरणास 'पाण्याचे असंगत आचरण' असे म्हणतात.

1 kg वस्तुमानाच्या पाण्यास 0 °C पासून उष्णता देत तापमान व आकारमान यांच्या नोंदी घेऊन त्यांचा आलेख काढल्यास, आकृती 5.4 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे तो वक्र असेल. या वक्र आलेखावरून स्पष्ट होते की 0 °C पासून 4 °C पर्यंत पाण्याचे तापमान वाढविल्यास त्याचे आकारमान वाढण्याऐवजी कमी होते. 4 °C ला पाण्याचे आकारमान सर्वात कमी असते, म्हणजेच पाण्याची घनता 4 °C ला सर्वात जास्त असते. (पहा 5.4)

होपच्या उपकरणाच्या साहाय्याने पाण्याच्या असंगत आचरणाचा अभ्यास करणे.

पाण्याच्या असंगत आचरणाचा अभ्यास होप च्या उपकरणाच्या साहाय्याने करता येतो. होपच्या उपकरणात धातूच्या उभट नळकांड्यास मध्यभागी एक पसरट गोलाकार भांडे जोडलेले असते. उभट नळकांड्यास पसरट भांड्याच्या वर (T_2) आणि खाली (T_1) तापमापी जोडण्याची सुविधा असते. उभट नळकांड्यात पाणी भरले जाते तर पसरट भांड्यात बर्फ व मीठ यांचे गोठण मिश्रण भरतात. (पहा आकृती 5.5)



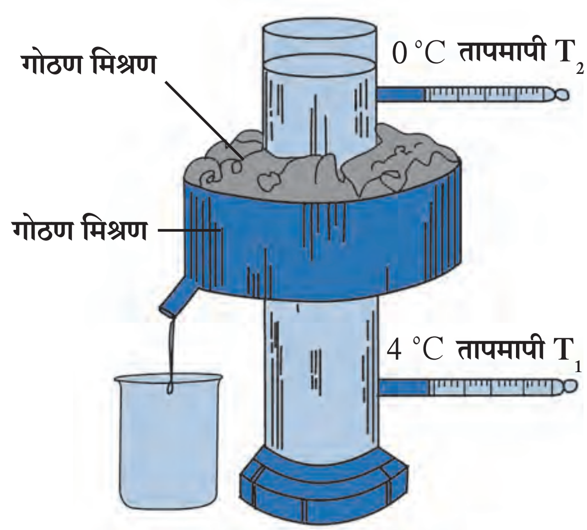
5.4 पाण्याचे तापमान आणि आकारमान यांचा आलेख

होपच्या उपकरणाच्या साहाय्याने पाण्याच्या असंगत आचरणाचा अभ्यास करत असताना प्रत्येकी 30 सेकंदानंतर T_1 व T_2 तापमापीने दाखविलेल्या तापमानांची नोंद केली जाते.

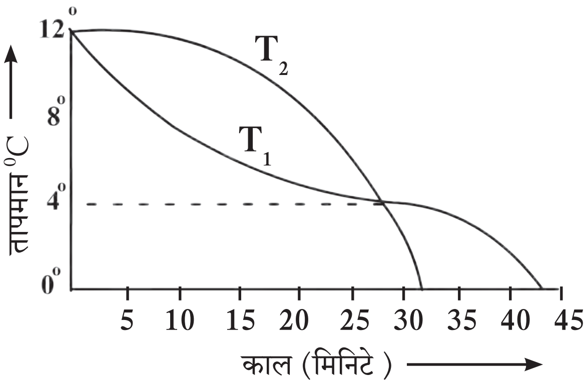
तापमान Y–अक्षावर आणि वेळ X – अक्षावर घेऊन आलेख काढतात. आकृती 5.6 मधील आलेखावरून स्पष्ट होते की, प्रारंभी दोन्ही तापमापी समान तापमान दाखवितात. नळकांड्याच्या खालच्या भागातील पाण्याचे तापमान (T_1) जलद गतीने कमी होते तर वरच्या भागातील पाण्याचे तापमान (T_2) तुलनेने हळूहळू कमी होते.

नळकांड्याच्या खालच्या भागातील पाण्याचे तापमान (T_1) 4 °C पर्यंत पोहोचताच ते काही काळ जवळजवळ स्थिर राहते व वरच्या भागातील पाण्याचे तापमान (T_2) हळूहळू 4 °C पर्यंत कमी होते. यामुळे एकाच वेळेला T_1 आणि T_2 4 °C तापमान दाखवितात. यानंतर मात्र वरच्या भागातील पाण्याचे तापमान (T_2) जलद गतीने कमी होत असल्याने वरची तापमापी T_2 प्रथम 0 °C तापमानाची नोंद करते आणि त्यानंतर खालची तापमापी T_1, 0 °C तापमानाची नोंद करते. आलेखावरील दोन्ही वक्रांचा छेदन बिंदू कमाल घनतेचे तापमान दर्शवितो.

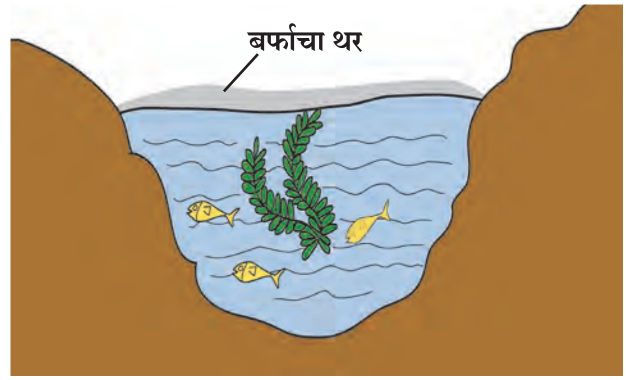
सुरूवातीस नळकांड्याच्या मध्यभागातील पाण्याचे तापमान सभोवतालच्या गोठण मिश्रणामुळे कमी होते. नळकांड्याच्या मध्यभागातील पाण्याचे तापमान कमी झाल्याने त्याचे आकारमान कमी होते त्यामुळे त्याची घनता वाढते. परिणामी जास्त घनतेचे पाणी खाली जाते. या कारणामुळे खालच्या भागातील पाण्याचे तापमान (T_1) सुरूवातीस जलद गतीने कमी होते. नळकांड्याच्या खालच्या भागातील तापमान जेव्हा 4 °C होते, तेंव्हा त्या पाण्याची घनता उच्चतम होते, नळकांड्याच्या मध्यभागातील पाण्याचे तापमान 4 °C पेक्षा कमी होते तेव्हा ते प्रसरण पावू लागते, आता त्याची घनता कमी होते व ते तळाकडे न जाता वरील भागाकडे जाऊ लागते. म्हणून वरच्या भागातील पाण्याचे तापमान (T_2) जलद गतीने 0 °C पर्यंत कमी होते परंतु तळाशी असणाऱ्या पाण्याचे तापमान 4 °C वर काही काळ स्थिर राहते, व नंतर तेही 0 °C पर्यंत कमी होते.



5.5 होपचे उपकरण



5.6 वेळ व तापमान यांचा आलेख



5.7 थंड प्रदेशातील पाण्यातील सजीव

जरा डोके चालवा. **पाण्याच्या असंगत आचरणाच्या आधारे खालील विधाने कशी स्पष्ट कराल?**

1. थंड प्रदेशात वातावरणाचे तापमान 0 °C किंवा त्यापेक्षा कमी होऊनसुद्धा तेथील जलीय सजीव जिवंत राहतात.
2. थंड प्रदेशात हिवाळ्याच्या कालावधीत पाणी वाहून नेणारे नळ फुटतात व खडकांना भेगा पडतात.

दवबिंदू तापमान आणि आर्द्रता (Due point and Humidity)

पृथ्वीचा 71% पृष्ठभाग पाण्याने व्यापलेला आहे. पाण्याचे सतत बाष्पीभवन होत असते. त्यामुळे वातावरणात नेहमीच काही प्रमाणात बाष्प असते. वातावरणामध्ये असणाऱ्या बाष्पाच्या प्रमाणावरून दैनंदिन हवामानाचे स्वरूप समजण्यास मदत होते. हवेतील पाण्याच्या वाफेमुळे हवेत निर्माण होणारा ओलावा किंवा दमटपणा म्हणजे आर्द्रता होय.

एका दिलेल्या तापमानास दिलेल्या हवेच्या आकारमानात एका कमाल मर्यादेपर्यंत बाष्प सामावले जाते. या मर्यादेपेक्षा जास्त बाष्प असल्यास त्या अतिरिक्त बाष्पाचे पाण्यात रुपांतर होईल. हवेमध्ये जेव्हा पाण्याची कमाल वाफ सामावलेली असते तेव्हा ती हवा त्या विशिष्ट तापमानास बाष्पाने संपृक्त आहे असे म्हणतात. हवा संपृक्त होण्यासाठी लागणाऱ्या बाष्पाचे प्रमाण तापमानावर अवलंबून असते. तापमान कमी असल्यास हवा संपृक्त होण्यास कमी बाष्प लागते. उदा. 40 °C तापमानाच्या 1 किलोग्रॅम कोरड्या हवेत जास्तीत जास्त 49 ग्रॅम पाण्याचे बाष्प सामावू शकते व ती हवा बाष्पाने संपृक्त होते म्हणजेच अशा हवेत बाष्पाचे प्रमाण अधिक झाल्यास अतिरिक्त बाष्पाचे संघनन होते. परंतु कोरड्या हवेचे तापमान 20 °C असल्यास ती हवा 14.7 ग्रॅम एवढ्या बाष्प पातळीलाच संपृक्त होते. हवा सामावून घेत असलेल्या बाष्पाच्या कमाल मर्यादेपेक्षा हवेमध्ये कमी बाष्प सामावलेले असल्यास ती हवा असंपृक्त हवा आहे असे म्हणतात.

एका विशिष्ट तापमानाची असंपृक्त हवा घेतली व तिचे तापमान कमी करत नेले तर तापमान कमी होताना ज्या तापमानास हवा बाष्पाने संपृक्त होते, त्या तापमानास दवबिंदू तापमान म्हणतात.

हवेतील पाण्याच्या वाफेचे प्रमाण निरपेक्ष आर्द्रता (Absolute humidity) या राशीच्या साहाय्याने मोजले जाते. एकक आकारमानाच्या हवेमध्ये असलेल्या पाण्याच्या वाफेच्या वस्तुमानास निरपेक्ष आर्द्रता असे म्हणतात. सर्वसाधारणपणे निरपेक्ष आर्द्रता ही kg/m^3 मध्ये मोजतात.

हवेच्या दमटपणाची किंवा कोरडेपणाची जाणीव ही फक्त हवेमध्ये असणाऱ्या बाष्पाच्या प्रमाणावर अवलंबून नसते तर बाष्पाचे प्रमाण हवा संपृक्त करण्यासाठी लागणाऱ्या प्रमाणाच्या किती जवळ आहे यावरही अवलंबून असते, म्हणजेच ती हवेच्या तापमानावरही अवलंबून असते. दमटपणाचे प्रमाण सापेक्ष आर्द्रतेच्या स्वरूपात मोजतात. हवेच्या ठराविक आकारमानात व तापमानास प्रत्यक्ष समाविष्ट बाष्पाचे वस्तुमान व हवा संपृक्त करण्यासाठी आवश्यक असणाऱ्या बाष्पाचे वस्तुमान यांच्या गुणोत्तरास सापेक्ष आर्द्रता (Relative humidity)म्हणतात.

$$\text{शेकडा सापेक्ष आर्द्रता} = \frac{\text{दिलेल्या आकारमानात प्रत्यक्ष समाविष्ट बाष्पाचे वस्तुमान}}{\text{दिलेल्या आकारमानाची हवा संपृक्त करण्यासाठी आवश्यक असणाऱ्या बाष्पाचे वस्तुमान}} \times 100$$

दवबिंदू तापमानास सापेक्ष आर्द्रता 100 % असते. जर सापेक्ष आर्द्रता 60 % पेक्षा जास्त असेल तर हवा दमट असल्याचे जाणवते. जर सापेक्ष आर्द्रता 60 % पेक्षा कमी असेल तर हवा कोरडी असल्याचे जाणवते.

हिवाळ्याच्या कालावधीत निरभ्र आकाशात उंचीवरून उडणाऱ्या विमानाच्या मागे पांढरा पट्टा (trail) निर्माण झालेला तुम्ही पहिला असेल. विमान उडत असताना इंजिनापासून निघणाऱ्या वाफेचे संघनन (Condensation)होऊन ढग तयार होतात. जर सभोवतालच्या वातावरणातील हवा ही अधिक सापेक्ष आर्द्रतेची असेल तर पांढरा पट्टा लांबच लांब दिसतो व तो नाहीसा होण्यासही अधिक वेळ लागतो. जर सापेक्ष आर्द्रता कमी असेल तर लहान पांढरा पट्टा कधी तयार होतो तर कधी तयार होतही नाही.

करून पाहूया.

1. थंड पाण्याची बाटली फ्रीजमधून काढून टेबलावर ठेवा व थोडा वेळ बाटलीच्या बाह्य पृष्ठभागाचे निरीक्षण करा.
2. हिवाळ्यात पहाटेच्या वेळी गवताच्या पानाचे / झाडाच्या पानाचे निरीक्षण करा, गाडीच्या काचांचे निरीक्षण करा.

थंड पाण्याची बाटली फ्रीज मधून काढून टेबलवर ठेवली असता बाटलीच्या बाह्य पृष्ठभागावर पाण्याचे थेंब जमा झालेले दिसतात, तसेच पहाटेच्या वेळी गवताच्या/झाडाच्या पानाचे, किंवा गाडीच्या काचेचे निरीक्षण केल्यास पानांवरती तसेच गाडीच्या काचेवरती पाण्याचे थेंब जमा झालेले दिसतात. वरील दोन्ही निरीक्षणांतून आपणास हवेमध्ये असलेल्या बाष्पाचे अस्तित्व जाणवते.

जेव्हा हवा खूप थंड होते, तेव्हा तापमान कमी झाल्याने हवा वाफेने संपृक्त होत जाते. त्यामुळे अतिरिक्त बाष्पाचे लहान लहान थेंब बनतात. हवेत असणाऱ्या बाष्पाच्या प्रमाणावर दवबिंदू तापमान अवलंबून असते.

उष्णतेचे एकक (Unit of heat)

उष्णता SI मापन पद्धतीत ज्यूल (J) व CGS मापन पद्धतीत कॅलरी (cal) या एककात मोजतात.

एक किलोग्रॅम पाण्याचे तापमान 14.5 °C ते 15.5 °C पर्यंत 1°C ने वाढविण्यासाठी लागणाऱ्या उष्णतेस एक किलोकॅलरी उष्णता असे म्हणतात, तर एक ग्रॅम पाण्याचे तापमान 14.5 °C ते 15.5 °C पर्यंत 1°C ने वाढविण्यासाठी लागणाऱ्या उष्णतेस एक कॅलरी उष्णता असे म्हणतात. मोठ्या प्रमाणातील उष्णता मोजण्यासाठी किलोकॅलरी (kcal) हे एकक वापरतात (1 किलोकॅलरी = 10^3 कॅलरी).

हे नेहमी लक्षात ठेवा.

एक किलोग्रॅम पाण्याचे तापमान 14.5 °C ते 15.5 °C तापमानापेक्षा वेगळ्या तापमानास तापविले तर 1°C तापमान वाढविण्यासाठी द्यावी लागणारी उष्णता 1 किलोकॅलरी पेक्षा थोडी भिन्न राहील म्हणून उष्मा एकक ठरविताना आपण 14.5 °C ते 15.5 °C हाच विशिष्ट तापमान खंड निवडतो. कॅलरी व ज्यूल यांचा परस्पर संबंध पुढील सूत्राने दाखविता येतो. 1 कॅलरी = 4.18 ज्यूल

परिचय शास्त्रज्ञांचा

जेम्स प्रेस्कॉट ज्यूल,(1818-1889): 'पदार्थाच्या सूक्ष्म कणांची गतिज ऊर्जा उष्णतेच्या स्वरूपात बाहेर पडते, तसेच निरनिराळ्या ऊर्जेचे एका स्वरूपातून दुसऱ्या स्वरूपात रुपांतरण होते हे त्यांनी प्रथम दाखवून दिले. उष्णता स्वरूपातील ऊर्जेच्या रुपांतरणातूनच पुढे थर्मोडायनॅमिक्स या विज्ञानशाखेचा पहिला सिद्धांत प्राप्त होतो. ऊर्जेच्या मोजमापासाठीच्या एककाला ज्यूल (J) ही संज्ञा देण्यात आली आहे.

विशिष्ट उष्मा धारकता (Specific Heat Capacity)

करून पाहूया.

साहित्य : मेणाचा जाड थर असलेला ट्रे, लोखंड, तांबे व शिसे यांचे समान वस्तुमानाचे भरीव गोल, बर्नर अथवा स्पिरीटचा दिवा , मोठे चंचुपात्र इत्यादी.

कृती :

1. समान वस्तुमान असलेले लोखंड, तांबे व शिसे यांचे भरीव गोल घ्या. (आकृती 5.8)
2. तीनही गोल उकळत्या पाण्यात काही काळ ठेवा.
3. काही वेळानंतर त्यांना उकळत्या पाण्यातून बाहेर काढा. तीनही गोळ्यांचे तापमान उकळत्या पाण्याच्या तापमानाएवढे म्हणजेच 100 °C एवढे असेल. त्यांना लगेच मेणाच्या जाड थरावर ठेवा.
4. प्रत्येक गोळा मेणामध्ये किती खोलीपर्यंत गेला ? नोंद करा.

5.8 धातुंची विशिष्ट उष्माधारकता

जो गोळा जास्त उष्णता शोषून घेईल तो गोळा मेणालाही जास्त उष्णता देईल त्यामुळे मेण जास्त प्रमाणात वितळेल व गोळा मेणामध्ये खोलवर जाईल. वरील कृतीत लोखंडाचा गोळा मेणामध्ये जास्त खोलवर जातो. शिशाचा गोळा मेणामध्ये सर्वात कमी खोल जातो .तांब्याचा गोळा दोहोंच्या दरम्यान त्या मेणामध्ये बुडालेला दिसतो. यावरून असे दिसून येते की तापमान सारख्या प्रमाणात वाढण्यासाठी तीनही गोळ्यांनी उकळत्या पाण्यापासून शोषलेली उष्णता ही भिन्न आहे. म्हणजेच उष्णता शोषून घेण्याचा प्रत्येक गोळ्याचा गुणधर्म वेगळा आहे. या गुणधर्मास विशिष्ट उष्माधारकता (Specific heat capacity) म्हणतात. **एकक वस्तुमानाच्या पदार्थाचे तापमान 1 °C ने वाढविण्यासाठी लागणारी उष्णता म्हणजे त्या पदार्थाची विशिष्ट उष्माधारकता होय.**

विशिष्ट उष्माधारकता 'c' या चिन्हाने दर्शवितात. विशिष्ट उष्माधारकतेचे SI मापन पद्धतीतील एकक J/kg °C हे आहे. तर CGS मापन पद्धतीतील एकक cal/g °C हे आहे.

अ.नं.	पदार्थ	विशिष्ट उष्माधारकता (cal/g °C)	अ.नं.	पदार्थ	विशिष्ट उष्माधारकता (cal/g °C)
1.	पाणी	1.0	5.	लोखंड	0.110
2.	पॅरॅफिन	0.54	6.	तांबे	0.095
3.	रॉकेल	0.52	7.	चांदी	0.056
4.	ॲल्युमिनियम	0.215	8.	पारा	0.033

5.9 काही पदार्थांच्या विशिष्ट उष्माधारकता

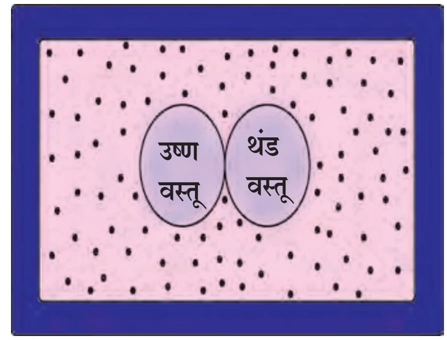
पदार्थाची विशिष्ट उष्माधारकता 'c' व पदार्थाचे वस्तुमान 'm' असल्यास व पदार्थाचे तापमान ΔT °C ने वाढविल्यास त्या पदार्थाने शोषून घेतलेली उष्णता पुढील सूत्राने मिळते.

पदार्थाने शोषून घेतलेली उष्णता = $m \times c \times \Delta T$ .... येथे ΔT ही तापमानातील वाढ आहे.

तसेच पदार्थाची विशिष्ट उष्माधारकता 'c'; पदार्थाचे वस्तुमान 'm'असल्यास व पदार्थाचे तापमान ΔT °C ने कमी केल्यास त्या पदार्थाने गमावलेली उष्णता पुढील सूत्राने मिळते.

पदार्थाने गमावलेली उष्णता=$m \times c \times \Delta T$ ....येथे ΔT ही तापमानातील घट आहे.

उष्णतेची देवाण घेवाण : उष्ण व थंड वस्तूंमध्ये उष्णतेची देवाणघेवाण झाल्यास उष्ण वस्तूचे तापमान कमी होत जाते व थंड वस्तूचे तापमान वाढत जाते. जोपर्यंत दोन्ही वस्तूंचे तापमान सारखे होत नाही तोपर्यंत तापमानातील हा बदल होत राहतो. या क्रियेत गरम वस्तू उष्णता गमावते तर थंड वस्तू उष्णता ग्रहण करते. दोन्ही वस्तू फक्त एकमेकांमध्ये ऊर्जेची देवाणघेवाण करू शकतात अशा स्थितीत असल्यास म्हणजेच जर दोनही वस्तूंची प्रणाली (System) वातावरणापासून वेगळी केल्यास म्हणजे उष्णतारोधक पेटीत ठेवल्यास (आकृती 5.10) पेटीत बाहेरुन उष्णता आतही येणार नाही किंवा बाहेरही जाणार नाही अशा स्थितीत आपणांस खालील तत्व मिळते.



5.10 उष्णतारोधक पदार्थाची पेटी

उष्ण वस्तूने गमावलेली उष्णता = थंड वस्तूने ग्रहण केलेली उष्णता. या तत्वास उष्णता विनिमयाचे तत्त्व म्हणतात.

विशिष्ट उष्माधारकतेचे मापन (मिश्रण पद्धती) व कॅलरीमापी

पदार्थाच्या विशिष्ट उष्माधारकतेचे मापन मिश्रण पद्धतीने करता येते. यासाठी कॅलरीमापी या उपकरणाचा उपयोग केला जातो. कॅलरीमापी या उपकरणाविषयी तुम्ही मागील इयत्तेत अभ्यास केला आहे. उष्णता दिलेला स्थायू पदार्थ कॅलरीमापीतील पाण्यात टाकला असता उष्ण स्थायू पदार्थाकडून कॅलरीमापीतील पाणी व कॅलरीमापी यांच्यात उष्णता स्थानांतरणाची क्रिया चालू होते. स्थायू पदार्थ, पाणी व कॅलरीमापी यांचे तापमान समान होईपर्यंत उष्णता स्थानांतरणाची क्रिया चालू राहते, म्हणून

उष्ण स्थायूने गमवलेली उष्णता = कॅलरीमापीने ग्रहण केलेली उष्णता + कॅलरीमापीतील पाण्याने ग्रहण केलेली उष्णता

येथे,

स्थायूने गमावलेली उष्णता (Q) = स्थायूचे वस्तुमान × स्थायूची विशिष्ट उष्माधारकता × तापमानातील घट

पाण्याने ग्रहण केलेली उष्णता (Q_1) = पाण्याचे वस्तुमान × पाण्याची विशिष्ट उष्माधारकता × तापमानातील वाढ

कॅलरीमापीने ग्रहण केलेली उष्णता (Q_2),

= कॅलरीमापीचे वस्तुमान × कॅलरीमापीच्या द्रव्याची विशिष्ट उष्माधारकता × तापमानातील वाढ

$Q = Q_2 + Q_1$ या सूत्राच्या सहाय्याने पदार्थाची विशिष्ट उष्माधारकता किती ते काढता येते.

जोड माहिती संप्रेषण तंत्रज्ञानाची :

माहिती संप्रेषण तंत्रज्ञानाच्या सहाय्याने पाठातील विविध संकल्पना स्पष्ट करण्यासाठी व्हिडीओ, चित्रे, ऑडीओ, आलेख या सर्वांचा वापर करून एक सादरीकरण तयार करून वर्गात सादर करा.

सोडवलेली उदाहरणे

उदाहरण 1. 5 kg वस्तुमान असलेल्या पाण्याचे तापमान 20 °C पासून 100 °C पर्यंत वाढविण्यासाठी किती उष्णता लागेल?

दिलेली माहिती : m = 5 kg ; c = 1 kcal /kg °C

तापमानातील बदल, $\Delta T = 100 - 20 = 80$ °C

द्यावी लागणारी उष्णता = वस्तुमान × विशिष्ट उष्माधारकता × तापमानातील बदल

$= m \times c \times \Delta T$

$= 5 \times 1 \times 80$

= 400 kcal

तापमान वाढवण्यासाठी द्यावी लागणारी उष्णता = 400 kcal.

उदाहरण 2. 100 g वस्तुमान असलेल्या तांब्याच्या गोळ्याला 100 °C पर्यंत उष्णता देऊन 195 g वस्तुमान व 20 °C तापमान असलेल्या तांब्याच्या कॅलरीमापीतील पाण्यात सोडला. कॅलरीमापीचे वस्तुमान 50 g असल्यास मिश्रणाचे जास्तीत जास्त तापमान किती होईल?(तांब्याची विशिष्ट उष्माधारकता = 0.1 cal/g °C)

दिलेली माहिती : समजा मिश्रणाचे जास्तीत जास्त तापमान T °C आहे.

तांब्याच्या गोळ्याने गमावलेली उष्णता

(Q) = गोळ्याचे वस्तुमान × गोळ्याची विशिष्ट उष्माधारकता × तापमानातील घट

$= 100 \times 0.1 \times (100 - T)$

पाण्याला मिळालेली उष्णता

(Q_1) = पाण्याचे वस्तुमान × पाण्याची विशिष्ट उष्माधारकता × तापमानातील वाढ

$= 195 \times 1 \times (T - 20)$

कॅलरीमापीला मिळालेली उष्णता

(Q_2) = कॅलरीमापीचे वस्तुमान × कॅलरीमापीच्या द्रव्याची विशिष्ट उष्माधारकता × तापमानातील वाढ

$= 50 \times 0.1 \times (T - 20)$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$100 \times 0.1 \times (100 - T) = 195 \times 1 \times (T - 20) + 50 \times 0.1 \times (T - 20)$$

$$10\,(100 - T) = 195(T - 20) + 5\,(T - 20)$$

$$1000 - 10\,T = 200\,(T - 20)$$

$$210\,T = 5000$$

$$T = 23.80\ ^\circ C$$

मिश्रणाचे तापमान 23.80 °C असेल.

उदाहरण 3 . 0 ^{0}C तापमानाच्या बर्फाच्या मोठ्या लादीवर 97 ^{0}C तापमानाची 80 g इतकी पाण्याची वाफ सोडली तर 0 ^{0}C तापमानाचा किती बर्फ वितळेल? वाफेचे पाण्यात रुपांतरण होताना किती उष्णता बर्फाला दिली जाईल?

बर्फ वितळण्याचा अप्रकट उष्मा = $L_{\text{वितळणाचा}}$ = 80 cal/g

बाष्पनाचा अप्रकट उष्मा = $L_{\text{बाष्पनाचा}}$ = 540 cal/g

दिलेली माहिती :

वाफेचे तापमान = 97 ^{0}C

वाफेचे वस्तुमान = $m_{\text{वाफ}}$ = 80 g

बर्फाचे तापमान = $T_{\text{बर्फ}}$ = 0 ^{0}C

97 ^{0}C तापमानाच्या वाफेचे 97 ^{0}C तापमानाच्या पाण्यात रुपांतरण होतानाची बाहेर निघालेली उष्णता

$= m_{\text{वाफ}} \times L_{\text{बाष्पनाचा}}$

$= 80 \times 540$ ....(1)

97 ^{0}C तापमानाच्या पाण्याचे 0 ^{0}C तापमानाच्या पाण्यात रुपांतरण होतानाची उष्णता

$= m_{\text{वाफ}} \times \Delta T \times c$

$= 80 \times (97-0) \times 1$ ....(2)

बर्फाला मिळालेली उष्णता = $(80 \times 540) + (80 \times (97-0) \times 1)$, ... समीकरण 1 व 2 वरून

$= 80\,(540 + 97)$

$= 80 \times 637 = 50960$ cal.

$m_{बर्फ}$ इतक्या वस्तुमानाच्या बर्फाचे वरील उष्णतेने 0 ^0C तापमानाच्या पाण्यात रुपांतर झाल्यास,
बर्फाला मिळालेली उष्णता = वाफेने गमावलेली उष्णता

$m_{बर्फ} \times 80 = 80 \times 637$

$m_{बर्फ} = 637$ g. 0 ^0C तापमानाचा 637 g बर्फ वितळेल व वाफेचे पाण्यात रुपांतरण होताना 50960 cal. उष्णता बर्फाला दिली जाईल.

पुस्तक माझे मित्र : अधिक माहितीसाठी वाचन करा.
1. A Textbook of heat – J.B. Rajam 2. Heat – V.N Kelkar
3. A Treatise on Heat – Saha and Srivastava

स्वाध्याय

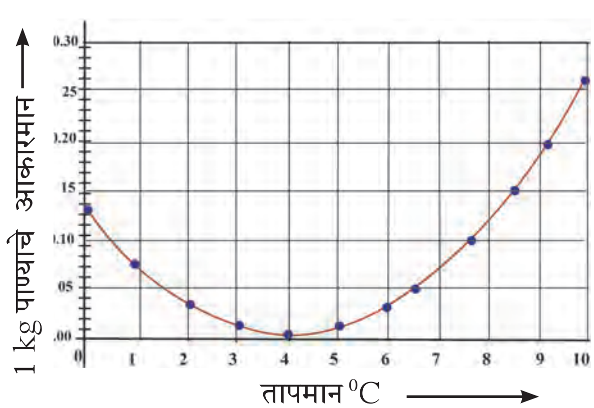
1. खालील रिकाम्या जागी योग्य शब्द लिहून वाक्य पुन्हा लिहा.

अ. हवेतील पाण्याचे प्रमाण ज्या राशीच्या साहाय्याने मोजले जाते तिला .... म्हणतात.

आ. समान वस्तुमान असलेल्या वेगवेगळ्या पदार्थांस समान उष्णता दिली असता त्यांचे वाढणारे तापमान त्यांच्या .... गुणधर्मामुळे समान नसते.

इ. पदार्थाचे द्रवातून स्थायूत रुपांतर होत असताना पदार्थातील अप्रकट उष्मा ....

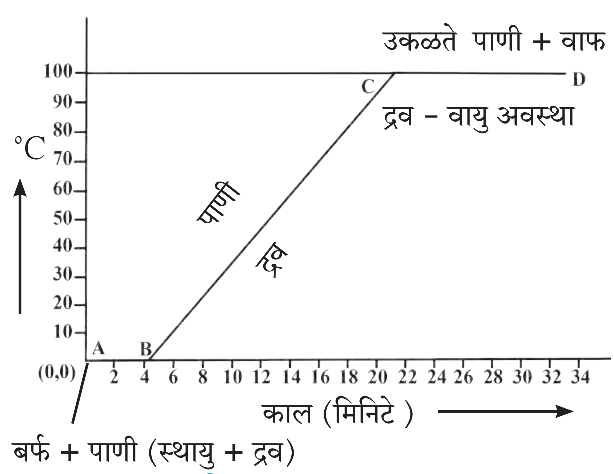
2. खालील आलेखाचे निरीक्षण करा. पाण्याचे तापमान 0 °C पासून वाढवत नेल्यास त्याच्या आकारमानात होणारा बदल विचारात घेऊन पाणी व इतर पदार्थ यांच्या आचरणात नक्की काय फरक आहे ते स्पष्ट करा. पाण्याच्या या प्रकारच्या आचरणास काय म्हणतात?



3. विशिष्ट उष्माधारकता म्हणजे काय? प्रत्येक पदार्थाची विशिष्ट उष्माधारकता वेगवेगळी असते हे प्रयोगाच्या साहाय्याने कसे सिद्ध कराल?

4. उष्णतेचे एकक ठरवताना कोणता तापमान खंड निवडतात? का?

5. खालील तापमान–काल आलेख स्पष्ट करा.



6. स्पष्टीकरण लिहा.

अ. थंड प्रदेशात जलीय वनस्पती व जलचर यांना जिवंत ठेवण्यात पाण्याच्या असंगत आचरणाची भूमिका स्पष्ट करा.

आ. शीतपेयाची बाटली फ्रीजमधून काढून ठेवल्यास बाटलीच्या बाह्य पृष्ठभागावर पाण्याचे थेंब जमा झालेले दिसतात. याचे स्पष्टीकरण दवबिंदूच्या साहाय्याने करा.

इ. 'पाण्याच्या असंगत आचरणामुळे खडक फुटून त्याचे तुकडे होतात' हे वाक्य स्पष्ट करा.

7. **खालील प्रश्नांची उत्तरे लिहा.**

अ. अप्रकट उष्मा म्हणजे काय? पदार्थातील अप्रकट उष्मा पदार्थातून बाहेर टाकला गेल्यास पदार्थाच्या अवस्था कशा बदलतील?

आ. पदार्थाच्या विशिष्ट उष्माधारकतेच्या मापनासाठी कोणत्या तत्त्वाचा वापर करतात?

इ. पदार्थाच्या अवस्था बदलातील अप्रकट उष्म्याची भूमिका स्पष्ट करा.

ई. हवा संपृक्त आहे की असंपृक्त आहे हे कशाच्या आधारे व कसे ठरवाल?

8. **खालील उताऱ्याचे वाचन करा व विचारलेल्या प्रश्नांची उत्तरे लिहा.**

उष्ण व थंड वस्तूंमध्ये उष्णतेची देवाणघेवाण झाल्यास उष्ण वस्तूचे तापमान कमी होत जाते व थंड वस्तूचे तापमान वाढत जाते. जोपर्यंत दोन्ही वस्तूंचे तापमान सारखे होत नाही तोपर्यंत तापमानातील हा बदल होत राहतो. या क्रियेत गरम वस्तू उष्णता गमावते तर थंड वस्तू उष्णता ग्रहण करते. दोन्ही वस्तू फक्त एकमेकांमध्ये ऊर्जेची देवाणघेवाण करू शकतात अशा स्थितीत असल्यास म्हणजेच जर दोनही वस्तूंची प्रणाली (System) वातावरणापासून वेगळी केल्यास प्रणाली मधून उष्णता आतही येणार नाही किंवा बाहेरही जाणार नाही अशा स्थितीत आपणांस खालील तत्त्व मिळते.

उष्ण वस्तूने गमावलेली उष्णता = थंड वस्तूने ग्रहण केलेली उष्णता. या तत्त्वास उष्णता विनिमयाचे तत्त्व म्हणतात.

अ. उष्णता स्थानांतरण कोठून कोठे होते?

आ. अशा स्थितीत आपणास उष्णतेच्या कोणत्या तत्त्वाचा बोध होतो?

इ. ते तत्त्व थोडक्यात कसे सांगता येईल?

ई. या तत्त्वाचा उपयोग पदार्थाच्या कोणत्या गुणधर्माच्या मापनासाठी केला जातो?

9. **उदाहरणे सोडवा.**

अ. 1 g वस्तुमानाचे दोन पदार्थ अ आणि ब यांना एकसारखी उष्णता दिल्यावर **अ** चे तापमान 3 ^{0}C ने तर **ब** चे तापमान 5 ^{0}C ने वाढवले यावरून अ व ब पैकी कोणाची विशिष्ट उष्माधारकता जास्त आहे? किती पटीने?

उत्तर : अ, $\frac{5}{3}$

आ. बर्फ बनविण्याच्या कारखान्यात पाण्याचे तापमान कमी करून बर्फ बनविण्यासाठी द्रवरूप अमोनियाचा वापर करतात. जर 20 ^{0}C तापमानाचे पाणी 0 ^{0}C तापमानाच्या 2 kg बर्फात रुपांतरीत करायचे असेल तर किती ग्रॅम अमोनियाचे बाष्पन करावे लागेल?

(द्रवरूप अमोनियाच्या बाष्पनाचा अप्रकट उष्मा = 341 cal/g) **उत्तर : 586.4 g**

इ. एका उष्णतारोधक भांड्यामध्ये 150 g वस्तुमानाचा 0 ^{0}C तापमानाचा बर्फ ठेवला आहे. 100 ^{0}C तापमानाची किती ग्रॅम पाण्याची वाफ त्यात मिसळावी म्हणजे 50 ^{0}C तापमानाचे पाणी तयार होईल?

(बर्फ वितळण्याचा अप्रकट उष्मा= 80 cal/g, पाण्याच्या बाष्पनाचा अप्रकट उष्मा = 540 cal/g, पाण्याची विशिष्ट उष्माधारकता = 1 cal/g) **उत्तर : 33 g**

ई. एका कॅलरीमापीचे वस्तुमान 100 g असून विशिष्ट उष्माधारकता 0.1 kcal/kg ^{0}C आहे. त्यामध्ये 250 g वस्तुमानाचा, 0.4 kcal/kg ^{0}C विशिष्ट उष्माधारकतेचा, व 30 ^{0}C तापमानाचा द्रव पदार्थ आहे. त्यामध्ये जर 10 g वस्तुमानाचा, 0 ^{0}C तापमानाचा बर्फाचा खडा टाकला तर मिश्रणाचे तापमान किती होईल? **उत्तर : 20.8 ^{0}C**

उपक्रम :

शिक्षकांच्या मदतीने गटात होपच्या उपकरणाचे कार्यरत प्रारूप तयार करून त्याआधारे प्रायोगिक चाचणी घेऊन निष्कर्ष पडताळून पहा.

◆◆◆

H7I85L