అరటిపండు ఒలిచి పెట్టినట్టు

ఉష్ణం - ఉష్ణోగ్రత

ఐజాక్ అసిమోవ్

అనువాదం : డా॥ వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి

జన విజ్ఞాన వేదిక

మంచి పుస్తకం

ఉష్ణం - ఉష్ణోగ్రత

రచయిత : ఐజాక్ అసిమోవ్

అనువాదం : డా॥ శ్రీనివాస చక్రవర్తి

ప్రచురణ : జులై, 2010

ప్రతుల సంఖ్య : 2000

వెల : రూ. 00/-

ISBN : 978-93-80153-34-6

ప్రచురణ, ప్రతులకు :

జన విజ్ఞాన వేదిక
జి. మాల్యాద్రి, కన్వీనర్, ప్రచురణల విభాగం
162, విజయలక్ష్మీనగర్
నెల్లూరు - 524 004
ఫోన్ : 94405 03061

మంచి పుస్తకం
12-13-450, వీధి నెం.1
తార్నాక, సికింద్రాబాదు 500 017
ఫోన్ : 94907 46614.
email : info@manchipustakam.in
website : www.manchipustakam.in

కంపోజింగ్, లే అవుట్ : పద్మ

ముఖచిత్ర డిజైన్ : అంకుష్ గ్రాఫిక్స్ & డిజైనర్స్

ముద్రణ : చరిత ఇంప్రెషన్స్,
1-9-1126/బి,
అజామాబాద్, హైదరాబాదు,
ఫోన్: 27678411.

విషయ సూచిక

1.	వేడిదనం – చల్లదనం	. . .	05
2.	ఉష్ణమానం	. . .	10
3.	వ్యాకోచం	. . .	16
4.	ఉష్ణం	. . .	24
	వాయుచలన సిద్ధాంతం	. . .	24
	వాస్తవ వాయువులు	. . .	33
	విశిష్టోష్ణం	. . .	39
	ఆయతనం ఉష్ణం – పీడనం ఉష్ణోగ్రత	. . .	40
	గుప్తోష్ణం	. . .	42

వేడిదనం - చల్లదనం

వేడిదనం, చల్లదనం అనేవి మన అనుభూతికి తెలిసే లక్షణాలు. ఒక వస్తువు మనకి "వేడిగా ఉంది" అని అనిపించినప్పుడు మరో ప్రామాణిక వస్తువు కన్నా వేడిగా ఉంది అని మన ఉద్దేశం. అలాగే ఒక వస్తువు "చల్లగా ఉంది" అన్నప్పుడు అది మరేదో వస్తువు కన్నా చల్లగా ఉందని మన భావం. ఒక వస్తువు ఎంత వేడిగా ఉందో, ఎంత చల్లగా ఉందో తెలిపే విలువనే ఉష్ణోగ్రత అంటారు.

కాబట్టి పదార్థాల లక్షణాలు సామాన్యంగా ఉష్ణోగ్రత మీద ఆధార పడతాయి. ఈ ఉష్ణోగ్రత అనేది భౌతిక శాస్త్రవేత్తలకి చాలా ముఖ్యమైన భావన. ఉదాహరణకి నీటిని మరిగించినప్పుడు ఆవిరవుతుంది. అంటే దాని సాంద్రత (density) తగ్గుతుంది, ఆయతనం (volume) పెరుగుతుంది. కాబట్టి ఉష్ణోగ్రత పెరగటం వల్ల సాంద్రత తగ్గింది అన్నమాట. అలాగే చన్నీళ్ళలో కన్నా వేణ్ణీళ్ళలో అణువుల మధ్య వాటిని కలిపి ఉంచే సంలగ్న శక్తులు (cohesive forces) మరింత బలహీనంగా ఉంటాయి. కాబట్టి ఆ శక్తుల మీద ఆధారపడే స్నిగ్ధత (viscosity), తలతన్యత (surface tension) మొదలైన లక్షణాలు మరింత బలహీనం అవుతాయి. అంతే కాదు. ఎట్టి పరిస్థితుల్లోనూ మారనట్టు కనిపించే ఇనప కడ్డీ పొడవులాంటి లక్షణం కూడా ఉష్ణోగ్రత వల్ల మారుతుంది.

కాబట్టి విశ్వంలో మన చుట్టూ జరిగే మార్పులని అర్థం చేసుకోవాలంటే, ఉష్ణోగ్రత బట్టి పదార్థాల లక్షణాలు ఎలా మారతాయో అర్థం చేసుకోవాలి. మరి అలా చెయ్యాలంటే ఉష్ణోగ్రతని ముందు కచ్చితంగా కొలవగలగాలి. ఉష్ణోగ్రత గురించి మన అనుభూతి చెప్పే విషయాలు అంత నమ్మదగ్గవి కావు. అందులో చాలా దోషం ఉంటుంది. మన ప్రయోజనాలకి అవి సరిపోవు.

ఉదాహరణకి ఒక చిన్న ప్రయోగం చేద్దాం. ఘనీభవిస్తున్న నీటి ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉండే నునుపుదేలిన లోహపు తలాన్ని, అదే ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న నునుపుదేలిన చెక్క తలాన్ని తీసుకుందాం. తాకి చూస్తే లోహపు తలం చెక్క తలం కన్నా మరింత చల్లగా అనిపిస్తుంది.

ఇంతకన్నా విడ్డూరమైన ప్రయోగం మరొకటి ఉంది. ఒక పాత్రలో ఐసు నీళ్ళు, మరో పాత్రలో వేణ్ణీళ్ళు తీసుకోవాలి. ఐసునీటి పాత్రలో ఒక చెయ్యి, వేణ్ణీళ్ళ పాత్రలో రెండవ చెయ్యి పెట్టి కాసేపు ఉంచాలి. తరువాత రెండు చేతులని గోరువెచ్చని నీటిలో ముంచాలి. ఐసునీళ్ళలో ఉన్న చేతికి కాసేపు ఈ గోరువెచ్చని నీరు చల్లగా అనిపిస్తే, వేణ్ణీళ్ళలో మునిగిన చేతికి వేడిగా అనిపిస్తుంది. వస్తువు ఒక్కటే అయినా అనుభూతి వేరు వేరుగా ఉంటోంది. కాబట్టి ఉష్ణోగ్రతని అంచనా వెయ్యటంలో అనుభూతి అంత నమ్మదగ్గది కాదని అర్థమవుతోంది.

కాబట్టి ఉష్ణోగ్రతని కొలవటానికి అనుభూతి మీద ఆధారపడకుండా, విశ్వసనీయమైన ఫలితాలనిచ్చే కొలమానం ఏదైనా కావాలి. ఉష్ణోగ్రత మారుతున్నప్పుడు దాన్ని బట్టి సమంగా మారే లక్షణం ఏదైనా ఉందేమో వెతకాలి. అప్పుడు ఉష్ణోగ్రతలో కచ్చితమైన మార్పులకి ఆ లక్షణంలో కచ్చితమైన మార్పులకి మధ్య సంబంధాన్ని వివరించవచ్చు. ఉష్ణోగ్రతని కొలవటానికి దాని మీద ఆధారపడే ఎన్నో లక్షణాలని భౌతికశాస్త్రవేత్తలు వాడుతూ ఉంటారు. కాని వాటన్నిట్లోకి సర్వసాధారణంగా వాడేది ఆయతనం(volume)లో వచ్చే మార్పు. సాధారణంగా ఉష్ణోగ్రత పెరిగినప్పుడు ఆయతనం పెరుగుతుంది. ఉష్ణోగ్రత తగ్గినప్పుడు ఘనపరిమాణం తగ్గుతుంది. (ఇక్కడ 'సాధారణంగా' అనటానికి కారణం ఈ నియమానికి కొన్ని మినహాయింపులు ఉన్నాయి. ఆ సంగతి తరువాత చర్చించుకుందాం.)

ద్రవాల, ఘనపదార్థాల విషయంలో ఉష్ణోగ్రత వల్ల జరిగే వ్యాకోచం చాలా స్వల్పంగా ఉంటుంది. అసలది కంటికి కూడా కనిపించదు. ఉదాహరణకి మీటరు పొడవున్న ఒక స్టీలు కడ్డీని కరిగే ఐసు ఉష్ణోగ్రత నుండి, మరిగే నీటి ఉష్ణోగ్రత వద్దకి తీసుకుపోతే, దాని పొడవు ఒక మిల్లీమీటరు పెరుగుతుంది. అంటే వెయ్యిలో ఒకటో వంతు పెరుగుతుంది అన్నమాట. పెరుగుతున్నది ఆయతనం కాబట్టి, పొడవే కాకుండా తక్కిన పరిమాణాలు (dimensions) కూడా పెరుగుతాయి. ఉదాహరణకి ఆ స్టీలు కడ్డీ పరిచ్ఛేదం వ్యాసం ఒక చదరపు సెంటీమీటరు అయితే, దాని విలువ మిల్లీమీటరులో నూరో వంతు పెరుగుతుంది.

అలాంటి మార్పులు చిన్నవే కావచ్చు కానీ అప్రధానం కాదు. ఉదాహరణకి బ్రిడ్జిలలోను, రైలుపట్టాలలోను పెద్ద పెద్ద లోహపు చట్రాలని, కమ్మీలని వాడతారు. ఎండాకాలంలో అవి వ్యాకోచిస్తాయి. వీటి కొసలని ఎడం లేకుండా స్థిరంగా బంధించినట్టయితే, ఎండకి వ్యాకోచించినప్పుడు అవి వంగిపోతాయి. కాబట్టి అవి వ్యాకోచించే అవకాశం ఉండేట్టుగా పక్క పక్కన ఉండే కమ్మీల మధ్య కొంచెం ఎడం ఉండేట్టుగా ఏర్పాటు చేస్తారు.

(చిత్రం – ఎండకి వ్యాకోచించి వంగిపోయిన రైలు పట్టాలు)

మరో చక్కని ఉదాహరణ లోలకపు గడియారం. లోలకం ఆవర్తక కాలం దాని పొడవు మీద ఆధారపడుతుంది కాబట్టి కాస్తంత మారినా దాని ఆవర్తక కాలం గణనీయంగా మారిపోతుంది. కాలనిర్ణయంలో వచ్చే దోషాలు క్రమేపి పెరుగుతుంటాయి కాబట్టి, ఎండాకాలంలో లోలకపు పొడవులో వచ్చే మార్పుని తరచు సరిదిద్దుకుంటూ ఉండాలి. కాని అదే లోలకం చలికాలంలో ఏ ఇబ్బంది లేకుండా పని చెయ్యొచ్చు.

ఉష్ణోగ్రతలో ఒక ప్రత్యేకమైన మార్పుకి అన్ని పదార్థాలూ ఒకే విధంగా వ్యాకోచించవు. ఉదాహరణకి ఇనుము, నికెల్ 5:3 నిష్పత్తిలో కలిసిన మిశ్ర లోహం వ్యాకోచం, వట్టి ఇనుముగాని, స్టీలుగాని వ్యాకోచించే దాంట్లో పదో వంతు మాత్రమే ఉంటుంది. ఉష్ణోగ్రత వల్ల దాని పొడవు పెద్దగా మారదు. అందుకనే ఆ మిశ్రలోహంతో (కొలతలు తీసే) టేపులు, ప్రామాణిక దండాలు మొదలైనవి తయారుచేస్తారు. ఆ విశేష పదార్థాన్ని ఇన్వార్ అని అంటారు.

ఉష్ణోగ్రత పెరిగితే గాజు కూడా స్టీలుతో ఇంచుమించు సమానంగా వ్యాకోచిస్తుంది. ఒక గాజు పాత్రని ఆకస్మిక ఉష్ణోగ్రత మార్పుకి గురి చేస్తే, పాత్రలో ఉష్ణోగ్రత ప్రభావానికి గురైన భాగం వ్యాకోచిస్తుంది. కాని ఆ ప్రభావానికి ఇంకా లోనుకాని భాగం ఎప్పట్లాగే ఉంటుంది. అలాంటి పరిస్థితుల్లో గాజులో వత్తిడి (stress) మొదలవుతుంది. గాజులోపల ఉండే సంలగ్న శక్తులు ఆ వత్తిడిని అధిగమించలేకపోతే గాజు పగుళ్ళు ఇస్తుంది.

ఈ సమస్యకి పరిష్కారంగా బాగా పలచటి గాజుని తీసుకోవాలి. అప్పుడు పాత్రని ఒకచోట వేడెక్కిస్తే ఆ వేడి వేగంగా మిగతా చోట్లకి కూడా పాకుతుంది.

అంతకన్నా మేలైన పద్ధతి కొంచెం బోరాన్ కలిసిన గాజు జాతిని వాడటం. ఇలాంటి గాజు వ్యాపార నామం 'పైరెక్స్'. ఉష్ణోగ్రత మార్పులకి మామూలు గాజు వ్యాకోచించే దాంట్లో ఇది మూడో వంతు మాత్రమే వ్యాకోచిస్తుంది. అంటే ఉష్ణోగ్రత మార్పులవల్ల ఇందులో పుట్టే వత్తిడి మరింత తక్కువగా ఉంటుంది. కాబట్టి ఉష్ణోగ్రత మార్పులని ఇది తేలికగా తట్టుకుంటుంది. ఈ కారణం వల్ల దీన్ని బాగా పలచగా తయారుచేసి దాని యాంత్రికమైన సత్తాని బలహీనపరచనక్కర్లేదు. ఇన్వార్ కన్నా తక్కువగా వ్యాకోచించే పదార్థం క్వార్జ్ (quartz). మన ప్రయోజనాలకి అది ఇంకా బాగా పనికొస్తుంది. ఒక క్వార్జ్ పాత్రని ఎర్రగా కాల్చి చల్లని ఐసునీళ్ళలో ముంచినా చెక్కుచెదరదు.

పై ఉదాహరణలన్నిట్లోనూ ఉష్ణోగ్రత మార్పుల కారణంగా ఘనపరిమాణంలో వచ్చే మార్పులు అన్నీ స్వల్పంగానే ఉన్నాయి. ఉష్ణోగ్రతని కొలవాలంటే ఆ మార్పుని ఎలాగైనా పెంచాలి, సంవర్ధన చెయ్యాలి. అదృష్టవశాత్తు ఇందుకు అనువైన, తేలికైన పద్ధతులు ఉన్నాయి.

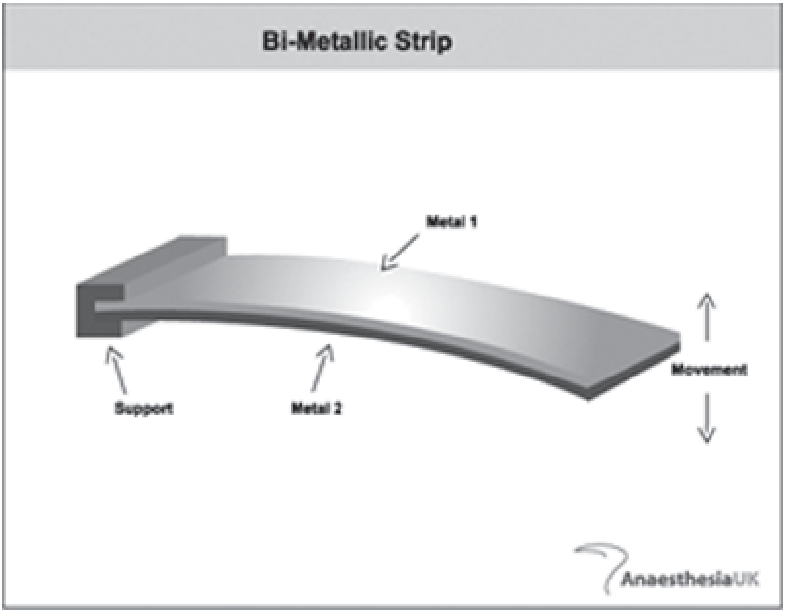
ఉదాహరణకి ఒకే పొడవు ఉన్న రెండు లోహపు బద్దలని, ఒక ఇత్తడి బద్దని ఇనుపబద్దతో, కలిపి వెల్డింగ్ చేశాం అనుకుందాం. ఉష్ణోగ్రతలో ఒక ప్రత్యేక మార్పుకి ఇత్తడి బద్ద వ్యాకోచం ఇనుప బద్ద వ్యాకోచం కన్నా రెండు ఇంతలు ఉంటుంది. ఈ రెండు బద్దలు అతుక్కుని లేకపోతే, ఎక్కువగా వ్యాకోచించే ఇత్తడి బద్ద, ఇనుప బద్ద కన్నా కొంచెం పొడవు పెరిగి, ముందుకు పొడుచుకు వచ్చినట్టుగా ఉంటుంది. అందుకు భిన్నంగా, మొదట్లో ఉన్న దాని కన్నా ఉష్ణోగ్రత తగ్గితే, పరిస్థితులు తారుమారు అవుతాయి. ఈసారి ఇనుము కన్నా ఇత్తడి ఎక్కువ సంకోచిస్తుంది. ఇనుప బద్ద కన్నా పొట్టిగా మారుతుంది.

ఇప్పుడు రెండు బద్దలని అతికించినట్టయితే ఇత్తడి బద్ద పొడవుగానో, పొట్టిగానో మారే ఆవకాశం ఉండదు. అలాంటి లోహాల బద్దని వేడి చేస్తే అది ఇనుము ఉన్న వైపుకి వంగుతుంది. ఆ వంపుకి బయటివైపు ఇత్తడి ఉంటుంది, లోపలి వైపు ఇనుము ఉంటుంది. బయటి పరిధి, లోపలి పరిధి కన్నా పొడవుగా ఉంటుంది కాబట్టి రెండు బద్దలూ అతుక్కునే ఉన్నా ఇత్తడి బద్ద మరింత పొడవుగా ఉండే అవకాశం ఉంటుంది. ఇప్పుడు ఉష్ణోగ్రతని ఈ విలువ నుండి మళ్ళీ తగ్గిస్తూ పోతే, అది మొదటి విలువకి వచ్చినప్పుడు, వంగిన ఈ రెండు

లోహాల బద్ద ముందు తిన్నగా అవుతుంది. ఉష్ణోగ్రతని ఇంకా తగ్గిస్తూ పోతే ఈసారి బద్ద, ఇత్తడి ఉన్న వైపుకి వంగుతుంది.

అలాంటి రెండు లోహాల బద్ద ఒక కొసని స్థిరంగా నిలిపినట్లయితే, ఉష్ణోగ్రత మారుతుంటే అవతలి కొస అటు ఇటు ఊగుతుంటుంది. బయటివైపు ఉన్న బద్ద లోపలివైపు ఉన్న దానికన్నా కాస్తే పెద్దగా ఉంటుంది. కాని వంపు మాత్రం విశేషంగా ఉంటుంది. అందుకే ఉష్ణోగ్రతలో చిన్న మార్పు వచ్చినా, రెండు బద్దల పొడవులలో మార్పు ఎక్కువగా రాకపోయినా, మొత్తం బద్ద వంపు మాత్రం గణనీయంగా ఉంటుంది.

ఇలాంటి సాధనాన్ని థర్మోస్టాట్ అంటారు. ఇంట్లో ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతున్నప్పుడు, ఈ రెండు లోహాల బద్ద ఎడమ పక్కకి వంగుతుంది అనుకుందాం. అలా వంగి వంగి ఒక దశలో ఒక విద్యుత్ స్విచ్‌ని వేయగలిగినంతగా వంగగలదు అనుకుందాం. అలా వేయబడ్డ స్విచ్ వల్ల ఇంటిని వెచ్చచేసే ఒక కొలిమి ‘ఆన్’ అవుతుంది. దాంతో ఇంట్లో ఉష్ణోగ్రత



రెండు లోహాలు కలిసిన బద్ద, వేడికి వంగే తీరు

పెరుగుతుంది. రెండు లోహాల బద్ద మళ్ళీ మొదటిస్థానానికి వస్తుంది. స్విచ్ తెరుచుకుపోతుంది. కొలిమి మళ్ళీ 'ఆఫ్' అవుతుంది. బద్ద స్విచ్‌ని తాకే స్థానాన్ని మనకి కావలసినట్టుగా మార్చుకుంటూ, మనకి కావలసిన ఉష్ణోగ్రత వద్ద కొలిమి ఆన్ అయ్యేట్టుగా ఏర్పాటు చేసుకోవచ్చు.

రెండు లోహాల బద్ద స్వతంత్ర కొస స్థానాన్ని ఉష్ణోగ్రతకి కొలమానంగా వాడుకోవచ్చు. ఆ కొసకి ఒక పెన్నును తగిలించి, ఆ పెన్నుకి అడుగున ఒక కాగితపు చుట్ట కదిలేట్టుగా ఏర్పాటు చేసినట్లయితే, బద్ద కొస కదలికలు ఆ కాగితం మీద ఒక రేఖలా చిత్రించబడతాయి. పడి లేచే ఆ రేఖను బట్టి ఉష్ణోగ్రతలోని మార్పుల చరిత్రని తెలుసుకోవచ్చు.

అలాగే లోలకాలని కూడా ఒక్క లోహంతో కాక రెండు లోహాలు కలిసిన కడ్డీతో నిర్మించవచ్చు. ఉదాహరణకి స్టీలు, జింకు లోహాలని కలిపి వాడుకోవచ్చు. ఈ రెండు బద్దలని అడ్డు కడ్డీలతో ఎలా కలపాలంటే, జింకు బద్దలో ఉష్ణోగ్రత మార్పు వల్ల లోలకం పొడవు పెరగాలి. అదే విధంగా ఇనుములో ఉష్ణోగ్రత మార్పువల్ల లోలకం పొడవు తగ్గాలి. ఈ రెండు చర్యల సమష్టి ప్రభావం వల్ల ఉష్ణోగ్రత మార్పులకి లోలకపు కడ్డీ పొడవు మారకుండా ఉంటుంది. దీన్నే పరిపూరక లోలకం (compensation pendulum) అంటారు.

ఉష్ణమానం

ఉష్ణోగ్రతలో మార్పుల వల్ల ఘనపరిమాణంలో వచ్చే మార్పులని బాగా పెంచి చూడాలంటే ఘనపదార్థాల కన్నా ద్రవాలని వాడితే మేలు. ఒక గోళాకారపు పాత్రకి నిటారుగా పైకి పోతున్న ఒక సన్నని నాళం ఉందని అనుకుందాం. ఈ గోళాకారపు పాత్ర నిండా ఒక ద్రవం ఉంది. దాని పైనున్న నాళంలో మాత్రం వట్టి శూన్యమే ఉంది. ఇప్పుడు ద్రవాన్ని వెచ్చ చేసినప్పుడు దాని ఆయతనం పెరుగుతుంది. వ్యాకోచించే ద్రవం పైనున్న నాళంలోకి పోవాల్సిందే. పైనున్న నాళంలోకి ప్రవేశించిన ద్రవం ఘనపరిమాణాన్ని తేలికగా ఈ సూత్రంతో కొలవచ్చు.

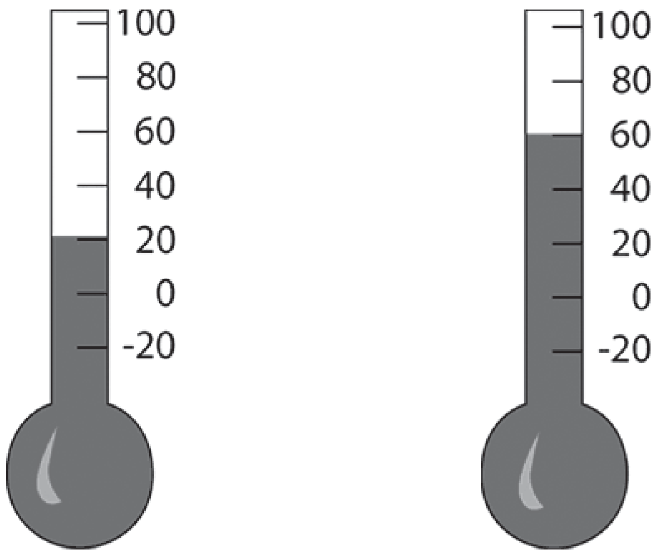
V = pi Xr r X h

r – అంటే నాళం వ్యాసార్థం.

h – నాళంలోకి ప్రవేశించిన ద్రవం మట్టం.

నాళం వ్యాసార్థం తక్కువ అవుతున్న కొద్దీ , ఒకే ఆయతనానికి ద్రవం పైకి లేచే మట్టం ఎక్కువ అవుతుంటుంది. కాబట్టి ద్రవం వ్యాకోచించిన ఘనపరిమాణం తక్కువే అయినా, నాళం బాగా సన్నగా ఉంటే, ద్రవం నాళంలో బాగా పైకి లేస్తుంది. నాళంలో ద్రవం మట్టాన్ని ఉష్ణోగ్రత కొలమానంగా వాడుకోవచ్చని స్పష్టంగా కనిపిస్తోంది.

ఒక పెద్ద ద్రవభాండారం ఒక పక్క, మరో పక్క ఆ ద్రవం ప్రవేశించడానికి ఒక సన్నని నాళం ఉన్న పరికరాన్నే థర్మామీటర్ అంటారు (అంటే గ్రీకులో ఉష్ణమానం అన్నమాట). పదిహేడవ శతాబ్దంలో అలాంటి థర్మామీటర్లని మొట్టమొదటిసారిగా రూపొందించసాగారు. మొదట్లో రకరకాల ద్రవాలని వాడి చూశారు. నీరు అతి సామాన్యమైన ద్రవం కాబట్టి నీటిని వాడి చూశారు. కాని చిక్కేమిటంటే ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంటే నీరు సమంగా వ్యాకోచించదు. నీటి ఘనీభవన బిందువు (freezing point, నీరు గడ్డకట్టుకునే ఉష్ణోగ్రత) కన్నా కొంచెం ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద నీటి సాంద్రత గరిష్ఠ స్థాయిని, అంటే దాని



ఆయతనం కనిష్ఠ స్థాయిని చేరుకుంటుంది. పైగా నీరు ద్రవ రూపంలో ఉండే ఉష్ణోగ్రతల విస్తృతి కూడా చాలా పరిమితంగానే ఉంటుంది. దాని ఘనీభవన బిందువు కన్నా తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద మరుగు బిందువు (boiling point) కన్నా ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద, ఉష్ణోగ్రత కొలవడానికి నీరు పనికిరాదు. కాని నీరు గడ్డ కట్టుకుపోయే ఉష్ణోగ్రతల వద్ద కూడా ఆల్కహాలు ద్రవ రూపంలో ఉంటుంది కాబట్టి నీటిని బదులు ఆల్కహాలుని వాడుతుంటారు. కాని నీరు మరిగే ఉష్ణోగ్రత కన్నా తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్దే ఆల్కహాలు మరిగి ఆవిరైపోతుంది.

మరో విషయం ఏమిటంటే నీరు, ఆల్కహాలు రెండూ కూడా గాజుని తడి చేస్తాయి. ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతున్నప్పుడు నాళంలో ఉన్న ద్రవం మట్టం పడుతుంటుంది. అలా కిందకి దిగుతున్న ద్రవం గాజు గోడలకి అంటుకుంటూ మెల్లగా కిందకి జారుతుంది. పైన గోడలకి అంటుకున్న ద్రవం మెల్లగా కిందకి జారుతుంటే, కింద ద్రవం మట్టం పెరుగుతూ కనిపిస్తుంది. కాబట్టి ద్రవం మట్టంలో ఈ మార్పు ఉష్ణోగ్రతలో మార్పు వల్ల వచ్చిందో, పైనుండి జారుతున్న ద్రవం వల్ల వచ్చిందో తేలికగా అర్థం కాదు.

థర్మామీటర్లో ద్రవంగా పాదరసాన్ని వాడడం మొదలు పెట్టినవాడు జర్మనీకి చెందిన భౌతికశాస్త్రవేత్త గేబ్రియల్ డేనియల్ ఫారన్‌హీట్ (1686–1736). ఈ ప్రయత్నాన్ని అతడు 1714లో చేశాడు. పాదరసం ఘనీభవన బిందువు కన్నా నీటి ఘనీభవన బిందువు బాగా తక్కువ. పైగా ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంటే అది సమంగా వ్యాకోచిస్తుంది. (ఈ విషయాన్ని నిర్ధారించాలంటే ఉష్ణోగ్రతలో వచ్చే మార్పులకి అనుగుణంగా పాదరసం ఆయతనంలో వచ్చే మార్పులే కాకుండా, దాని ఇతర లక్షణాలలో మార్పులు కూడా ఎలా ఉంటాయో చూడాలి. అన్నిటికన్నా ముఖ్యంగా

డేనియల్ ఫారెన్‌హీట్

పాదరసం గాజుని తడి చెయ్యదు. కాబట్టి ఆలస్యంగా కిందకి జారడం వల్ల పాదరసం మట్టంలో అవాంఛనీయమైన మార్పులు రావు.

ఉష్ణోగ్రతలో మార్పులకి అనుగుణంగా పాదరసపు బాట పైకి కిందకి మారడం ఒక మెట్టు. నాళంలో పాదరసపు మట్టానికి సంబంధించి కొన్ని నిర్దిష్ట సంఖ్యాపరమైన విలువలని ఇవ్వడం తరవాతి మెట్టు.

సాధారణ వాతావరణ పీడనం వద్ద మంచు ఒక ప్రత్యేక ఉష్ణోగ్రత వద్ద కరుగుతుంది. ఒకే పరిస్థితుల్లో భూమి మీద మంచుని ఎక్కడ కరిగించినా అదే ఉష్ణోగ్రత వద్ద కరుగుతుందని నమ్మవచ్చు. (అలా నమ్మకపోవడానికి ప్రత్యేకమైన కారణాలేవీ లేవు.) అదే విధంగా సాధారణ వాతావరణ పీడనం వద్ద నీరు ఎక్కడైనా ఒకే ఉష్ణోగ్రత వద్ద మరుగుతుంది. ఇప్పుడు ఒక థర్మామీటర్‌ని కరిగే మంచులో ఉంచుతాం అనుకుందాం. పాదరసం ఎక్కడిదాకా వస్తుందో గుర్తు పెట్టుకోవాలి. అలాగే మరిగే నీటిలో పెట్టి ఎంత ఎత్తు దాకా వస్తుందో చూడాలి. ఇప్పుడు ప్రపంచంలో ఉన్న థర్మామీటర్లు అన్నిటి మీద అదే విధంగా గుర్తులు పెట్టి ఉన్నాయని అనుకుందాం. అంటే ఆ థర్మామీటర్లు అన్నీ "ఒకే భాష మాట్లాడుతున్నాయి" అన్నమాట. అలా రెండు గుర్తులు పెట్టాక వాటి మధ్య దూరాన్ని సమమైన ఎడం గల మెట్లతో, అంటే డిగ్రీలతో విభజించాలి.

అయితే ఈ స్థిరమైన గుర్తులని కనుక్కోవడం కోసం ఫారెన్‌హీట్ దురదృష్టవశాత్తు నీటి ఘనీభవన బిందువుని, మరుగు బిందువుని వాడలేదు. సున్నా డిగ్రీల గుర్తు పెట్టుకోవడానికి మంచు, ఉప్పు కలిపిన మిశ్రమాన్ని వాడుకున్నాడు. తనకి సాధ్యమైన కనిష్ఠ ఉష్ణోగ్రత అదే. అదే విధంగా రెండవ గుర్తు కోసం మానవ దేహం ఉష్ణోగ్రతని వాడుకున్నాడు. నీటి ఘనీభవన బిందువుని 32 సంఖ్యతో సూచించాడు. నీటి మరుగు బిందువుని 212 అన్న విలువతో సూచించాడు. (ఈ రెండు విలువల మధ్య తేడా 180 డిగ్రీలు అన్న విషయం గుర్తించాలి). ఇలా పుట్టిందే ఫారెన్‌హీట్ స్కేలు. దీని మీద కొలతలనే ఫారెన్‌హీట్ డిగ్రీలు అంటారు. సంక్షిప్తంగా ^{0}F అని సూచిస్తారు. అంటే నీటి ఘనీభవన బిందువు 32 డిగ్రీల ఫారెన్‌హీట్, మరుగు బిందువు 212 డిగ్రీల ఫారెన్‌హీట్ అన్నమాట. అప్పుడు దేహం సామాన్య ఉష్ణోగ్రత 98.6 డిగ్రీల

ఫారెన్‌హీట్ అవుతుంది. ఇంట్లో ఉష్ణోగ్రత 70 డిగ్రీల వద్ద ఉంటే సుఖంగా ఉంటుంది. 0 ^{0}F కన్నా తక్కువైన ఉష్ణోగ్రతలని "సున్నా కన్నా - డిగ్రీలు తక్కువ" అంటాం. ఇక్కడ మైనస్ చిహ్నాన్ని వాడతాం. ఉదాహరణకి ఆల్కహాలు సున్నా కన్నా 179 డిగ్రీలు తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఘనీభవిస్తుంది. అంటే -179 ^{0}F వద్ద ఘనీభవిస్తుంది అన్నమాట.

1742లో స్వీడెన్‌కి చెందిన ఖగోళ శాస్త్రవేత్త ఆందర్స్ సెల్సియస్ (1701-1744) మరో విధమైన కొలమానాన్ని రూపొందించాడు. ఇందులో నీటి ఘనీభవన బిందువుని 0తో సూచించాడు. నీటి మరుగు బిందువుని 100తో సూచించాడు. ఈ రెండు బిందువుల మధ్య తేడాని 100 భాగాలుగా విభజించారు. అలా పుట్టిన కొలమానాన్నే మొదట్లో సెంటిగ్రేడ్ (ఈ మాటకి లాటిన్‌లో నూరు డిగ్రీలు అని అర్థం) స్కేలు అని పిలిచారు. తరవాత 1950లలో దాన్ని సెల్సియస్ గౌరవార్థం సెల్సియస్ స్కేలు అని పిలవడం మొదలెట్టారు. దీన్ని "డిగ్రీల సెంటీగ్రేడ్" అన్నా, "డిగ్రీల సెల్సియస్" అన్నా దాని సంక్షిప్త రూపం మాత్రం "^{0}C". ఈ స్కేలులో (కొలమానంలో) ఐసు ద్రవీభవన బిందువు, లేదా నీటి ఘనీభవన బిందువు 0 ^{0}C అవుతుంది. అలాగే నీటి మరుగు బిందువు 100 ^{0}C అవుతుంది.

ఆందర్స్ సెల్సియస్

ఈ సెల్సియస్ స్కేలు శాస్త్రవేత్తలకి సౌకర్యంగా అనిపించింది. ఇందులో 0కి 100కి మధ్య విస్తరించే ఉష్ణోగ్రతలని వాడే పద్ధతికి, శాస్త్రవేత్తలు వాడే దశాంశాల మీద ఆధారపడ్డ మెట్రిక్ వ్యవస్థకి చక్కగా పొంతన కుదిరింది. ముఖ్యంగా 0కి 100కి మధ్య ఉష్ణోగ్రతల విస్తృతిలో నీరు ద్రవ రూపంలో ఉంటూంది కాబట్టి ఈ స్కేలు రసాయన శాస్త్రవేత్తలకి చాలా నచ్చింది. క్రమంగా ఈ స్కేలు ప్రపంచం అంతటా వినియోగించబడసాగింది.

ఫారెన్‌హీట్ స్కేలుని మాత్రం అమెరికా, బ్రిటన్ దేశాల్లో రోజువారీ వ్యవహారాల్లో వాడుతున్నారు. ఈ స్కేలులో ఉన్న ఒక ఉపయోగం ఏమిటంటే మామూలుగా ప్రపంచంలో వివిధ ప్రాంతాలకి చెందిన వాతావరణ ఉష్ణోగ్రతలని ఫారెన్‌హీట్ స్కేలులో 0కి 100కి మధ్యన వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు. వాతావరణ ఉష్ణోగ్రతలని సెల్సియస్ స్కేలులో వ్యక్తం చేసేటప్పుడు రుణసంఖ్యలని వాడాల్సి వస్తుంది.

ఎన్నో దేశాల్లో ఈ రెండు స్కేళ్ళను వాడుతున్నారు కాబట్టి ఒకదాని నుండి మరో దానికి ఎలా మార్చుకోవాలో తెలిస్తే బావుంటుంది. నీటి ఘనీభవన బిందువుకి, మరిగే బిందువుకి మధ్య ఫారెన్‌హీట్ స్కేలులో 180 డిగ్రీలు, సెల్సియస్ స్కేలులో 100 డిగ్రీలు ఉన్నాయని తెలుసుకున్నాం. దీన్ని బట్టి రెండిట్లోకి సెల్సియస్ డిగ్రీ పెద్దదని స్పష్టంగా తెలుస్తోంది. ఒక సెల్సియస్ డిగ్రీ 180/ 100 లేదా 9/ 5 ఫారెన్‌హీట్ డిగ్రీలతో సమానం అన్నమాట. అదే విధంగా ఒక ఫారెన్‌హీట్ డిగ్రీ 100/ 180 లేదా 5/ 9 సెల్సియస్ డిగ్రీలతో సమానం.

ఇప్పుడు ఈ రెండు స్కేళ్ళలోను సున్నాకి సంబంధించిన బిందువు ఒక్కటే అయితే సమస్య చాలా తేలిక అవుతుంది. కాని అలా కాలేదు. సెల్సియస్ స్కేలు మీద రీడింగుని 9/ 5 తో గుణించినప్పుడు వచ్చే ఫారెన్‌హీట్ డిగ్రీలు సున్నా ఫారెన్‌హీట్ నుంచి కొలిచేవి కావు. 32 డిగ్రీల ఫారెన్‌హీట్ నుండి కొలిచేవి. కాబట్టి ఆ ఫలితానికి 32 కలపాల్సి వస్తుంది కాబట్టి

$$F = C\ 9/5 + 32 \qquad (1)$$

అదే విధంగా ఫారెన్‌హీట్ డిగ్రీల్లో ఉష్ణోగ్రతని సెల్సియస్ డిగ్రీలలోకి మార్చాలంటే, పై సూత్రాన్ని ఇలా తిరగ రాసుకోవచ్చు:

$$F = (5/9)\ (F-32) \qquad (2)$$

వ్యాకోచం

ఉష్ణోగ్రతని కచ్చితంగా కొలవడం తెలిశాక ఉష్ణోగ్రత మీద ఆధారపడే మార్పులని మరింత కచ్చితంగా అధ్యయనం చెయ్యొచ్చు. మనం అధ్యయనం

చేసే లక్షణం ఒక్కొక్క డిగ్రీ సెల్సియస్‌కి ఎంత మారుతుందో కొలవచ్చు.

ఉదాహరణకి ఉష్ణోగ్రతలో మార్పువల్ల ఒక కడ్డీ పొడవులో వచ్చే మార్పు ఎంతో కొలవాలనుకుందాం. ఒక డిగ్రీ సెల్సియస్ ఉష్ణోగ్రత పెరిగినప్పుడు అందుకు ఫలితంగా ఆ కడ్డీ పొడవు సాపేక్షికంగా ఎంత పెరుగుతుందో కొలవచ్చు. ఆ వృద్ధినే రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకం (coefficient of linear expansion) అంటారు.

పదార్థానికీ పదార్థానికీ ఈ రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకం మారుతుంది. ఘనపదార్థాలలో మాత్రం దీని విలువ చాలా చిన్నదిగానే ఉంటుంది. ఉదాహరణకి స్టీలులో దీని విలువ $0.00001/^0C$, లేదా $1 X 10^{-5}/^0C$. అంటే ఉష్ణోగ్రత ఒక డిగ్రీ సెల్సియస్ పెరిగితే, ఒక మీటరు పొడవు ఉన్న కడ్డీ పొడవు 0.00001 మీటరు పెరుగుతుందన్నమాట. అలాగే ఒక సెంటీమీటరు పొడవు ఉన్న కడ్డీ పొడవు 0.00001 సెంటీమీటరు పెరుగుతుందన్నమాట. (మరి కొన్ని పదార్థాల రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకం విలువలు: ఇత్తడి – $1.9 X 10^{-5}/^0C$, అల్యూమినమ్ – $2.6 X 10^{-5}/^0C$, క్వార్జ్ – $0.04 X 10^{-5}/^0C$).

ఈ రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకాన్ని గ్రీకు అక్షరం α తో సూచించాం అనుకోండి. ఒక ప్రత్యేక ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఒక కడ్డీ పొడవు 1 మీటరు ఉందనుకుందాం. ఇప్పుడు ఆ కడ్డీ ఉష్ణోగ్రతని $1\ ^0C$ పెంచాం. అందువల్ల దాని పొడవు $(1 + \alpha)$ మీటర్లు అవుతుంది. అలా కాకుండా 2 డిగ్రీల సెల్సియస్ ఉష్ణోగ్రతని పెంచితే, పొడవు $1 + 2\alpha$ అవుతుంది. అదే విధంగా ఉష్ణోగ్రత T డిగ్రీలు పెంచితే, పొడవు $1 + T\alpha$ అవుతుంది.

ఇప్పుడు, ఒక మీటరు కడ్డీకి బదులు 2 మీటర్లు కడ్డీతో అదే ప్రయోగం చేద్దాం. రెండు ఒక మీటరు కడ్డీలని కలపగా వచ్చిన కడ్డీగా దీన్ని ఊహించుకోవచ్చు. దీని ఉష్ణోగ్రతని T డిగ్రీలు పెంచితే చివరికి దీని పొడవు $((1 + T\alpha) + (1 + T\alpha))$ అవుతుంది. దీని పొడవులో మార్పు

$((1 + T\alpha) + (1 + T\alpha)) - 2 = 2T\alpha$ అవుతుంది.

అలాగే 3 మీటర్ల కడ్డీని తీసుకుంటే దాని పొడవు $((1 + T\alpha) + (1 + T\alpha))$ అవుతుంది. దీని పొడవులో వచ్చే మార్పు.

$((1 + T\alpha) + (1 + T\alpha) + (1 + T\alpha)) - 3 = 3T\alpha$

అవుతుంది. కాబట్టి L మీటర్ల కడ్డీ ఉష్ణోగ్రతని T డిగ్రీల సెల్సియస్ పెంచితే, దాని పొడవులో వచ్చే మార్పు,

$$dL = L\alpha\,(dT) \qquad (3)$$

అవుతుంది.

అయితే ఒక వస్తువును వేడి చేసినప్పుడు కేవలం దాని పొడవు మాత్రమే పెరగదు. అది అన్ని దిశలలోను వ్యాకోచిస్తుంది. కాబట్టి పొడవులో మార్పు కన్నా దాని ఆయతనంలో (volume) మార్పు మరింత ముఖ్యం. ముఖ్యంగా ద్రవాలలోను, వాయువులలోను ఆయతనంలో మార్పులనే కొలుస్తారు. ఇక ఘనపదార్థాలలో అయితే (ప్రత్యేకించి దాని ఆకారం కడ్డీ ఆకారంలో ఉంటే) ముందు దాని రేఖీయ వ్యాకోచాన్ని కొలిచి, దాని సహాయంతో దాని ఆయతనంలో వ్యాకోచాన్ని లెక్కించడం చాలా తేలిక.

ఒక పదార్థం రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకం అన్ని దిశలలోను ఒక్కటే అనుకుందాం. ఒక ఘనమీటరు ఆయతనం ఉన్న వస్తువుని తీసుకుందాం. దీని పొడవు=వెడల్పు=ఎత్తు= 1 మీటరు అనుకుందాం. ఇప్పుడు దీని ఉష్ణోగ్రతని 1 డిగ్రీ సెల్సియస్ పెంచుదాం. కాబట్టి దీని పొడవు కొత్త విలువ $(1+\alpha)$ మీటర్లు అవుతుంది. అలాగే దాని వెడల్పు, ఎత్తుల కొత్త విలువలు కూడా $(1+\alpha)$ మీటర్లే అవుతాయి. కాబట్టి దీని ఆయతనం కొత్త విలువ.

$(1+\alpha)^3$ అవుతుంది. అంటే దీని ఘనపరిమాణంలో మార్పు,

$(1+\alpha)^3 - 1$ అవుతుంది. బీజ గణితంలో ప్రాథమిక సూత్రాలని వాడితే

$(1+\alpha)^3 - 1 = 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3$ అని తెలుస్తుంది.

ఇక్కడ α చాలా చిన్న విలువ అనుకుంటే (ద్రవాలలోను, ఘనపదార్థాలలోను దీని విలువ నిజంగానే చిన్నది), α తో పోల్చితే α^2, α^3 విలువలు ఇంకా చిన్నవి అవుతాయి. కాబట్టి వీటిని విడిచిపెడితే వస్తువు ఆయతనంలో వచ్చిన మార్పుని ఉజ్జాయింపుగా,

3α అని వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు. అంటే,

ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం = 3 X రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకం

(coefficient of volumetric expansion = 3 X coefficient of linear expansion) అని అర్థమవుతుంది.

ఉదాహరణకి స్టీలు రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకం 1 X 10^{-5}/ డిగ్రీ అయితే, దాని ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం 3 X 10^{-5}/ డిగ్రీ అవుతుంది.

ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం ఘనపదార్థాలలో కన్నా ద్రవాలలో పది రెట్లు ఎక్కువగా ఉంటుంది. వాయువులలో ఇంకా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ప్రత్యేకించి వాయువుల ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం మీద పరిశోధనల కారణంగా ఉష్ణశాస్త్రం ఎంతగానో అభివృద్ధి చెందింది.

ఉష్ణోగ్రత పెంచితే వాయువులు వ్యాకోచిస్తాయని, తగ్గిస్తే సంకోచిస్తాయని గెలీలియో కూడా గమనించాడు. ఈ సూత్రాన్ని ఆధారంగా చేసుకుని ఒక థర్మామీటరు కూడా నిర్మించాడు. ఒక గాజు బల్బుకి ఒక చివర ఒక సన్నని పొడవైన గాజు నాళం తగిలించాడు. నాళానికి అవతలి కొస తెరిచి ఉంటుంది. ఇప్పుడు ఈ పరికరాన్ని నీటిలో బోరగిల (నాళం కిందకి, బల్బుపైకి వచ్చేలా) నీటిలో ముంచాడు. ఇప్పుడు చుట్టూ ఉన్న నీటి ఉష్ణోగ్రత తగ్గితే, నాళంలోని గాలి చల్లబడి సంకోచిస్తుంది. అందువల్ల నాళం కింది నుండి నీరు పైకి ఎక్కుతుంది. అలా కాకుండా నీటి ఉష్ణోగ్రత పెరిగితే, వాయువు సంకోచించి నాళంలో నీటి మట్టం తగ్గుతుంది. ఆ విధంగా వాయువుతో నిండిన నాళం ఒక థర్మామీటరులా పనిచేస్తుంది. అయితే దురదృష్టవశాత్తు నాళంలో ఉండే గాలి ఆయతనం కేవలం ఉష్ణోగ్రత మీదనే కాక, పీడనం మీద కూడా ఆధారపడుతుంది. కాబట్టి ఉష్ణోగ్రతలో మార్పులకి నీటి మట్టం సమంగా మారదు. ఏదేమైనా ఉష్ణోగ్రతలో మార్పులకి వాయువు ఆయతనం మారుతుంది అన్న విషయం రుజువయ్యింది.

ఉష్ణోగ్రత పెరిగితే వాయువు వ్యాకోచించడం గురించి మొట్టమొదటి అధ్యయనాలు 1699లో జరిగాయి. ఫ్రెంచ్ భౌతిక శాస్త్రవేత్త జియేన్ ఆమన్టన్ (1663–1705) వాయువుల గురించిన ఒక ముఖ్యమైన లక్షణాన్ని గుర్తించాడు. ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతున్నప్పుడు వాయువు వ్యాకోచించకుండా నిర్బంధిస్తే ఆ వాయువు పీడనం పెరుగుతుందని గమనించాడు. వాయువు ఏదైనా

ఉష్ణోగ్రతలోని మార్పులకి సమ పరిమాణంలో వాయువు పీడనం పెరుగుతుందని గమనించాడు.

ఆమన్టన్ కేవలం గాలితో మాత్రమే పని చెయ్యగలిగాడు. ఆ రోజుల్లో మరి మనుషులకి తెలిసిన వాయువు గాలి మాత్రమే. కాని పద్దెనిమిదవ శతాబ్దంలో ఎన్నో వాయువులని కనుక్కుని, వర్గీకరించారు. వాటి మీద విస్తృతంగా అధ్యయనాలు చేశారు. 1802లో ఫ్రెంచ్ రసాయనవేత్త జోసెఫ్ లూయీ గే లుసాక్ (1778–1850) గాలి ఆయతన వ్యాకోచ గుణకాన్ని కొలవడమే కాక, ఆక్సిజన్, హైడ్రోజన్, నైట్రోజన్ మొదలైన వాయువులన్నిటికి ఒకే ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం ఉండడం గమనించాడు. ఇది చాలా ఆశ్చర్యకరమైన విషయం. ఎందుకంటే ఘనపదార్థాలలో ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం పదార్థానికి పదార్థానికి మారుతుంది. అలాగే ద్రవాలలో కూడా ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం ద్రవానికీ ద్రవానికీ మారుతుంది. ఉదాహరణకి అలూమినమ్ ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం, క్వార్ట్జ్ ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం కన్నా 77 రెట్లు పెద్దది. అదే విధంగా మిథైల్ ఆల్కహాలు ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం, పాదరసం ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం కన్నా 6 రెట్లు పెద్దది.

0^0C వద్ద వాయువుల ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం 0.0036 అని తేలింది. అంటే సగటు ఘనపదార్థపు ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం కన్నా 300 పెద్దది.

పైన చూసిన సమీకరణం (3)ని, వాయువులకి వర్తింపచేస్తూ రాసుకోవచ్చు. పొడవుకి బదులుగా ఆయతనం (volume, V) ని వాడదాం. రేఖీయ వ్యాకోచ గుణకానికి బదులు ఆయతన వ్యాకోచ గుణకాన్ని (0.0036 = 1/273) వాడాలి. అప్పుడు ఆయతనంలో మార్పుకి, ఉష్ణోగ్రతలో మార్పుకి మధ్య సంబంధాన్ని వ్యక్తం చేస్తూ ఇలా రాసుకోవచ్చు.

$\triangle V = 0.00366V(\triangle t) = V(\triangle t)/273$ (సమీకరణం 4)

గే లుసాక్ నియమాన్ని వ్యక్తం చెయ్యడానికి ఇదో మార్గం.

అయితే జాక్ అలెగ్జాండ్ర్ సీజర్ చార్లెస్ (1746–1823) అనే ఫ్రెంచ్ భౌతిక శాస్త్రవేత్త 1787లోనే గే లుసాక్ కనుక్కున్న ఫలితాలని తానూ

కనుక్కున్నానని అన్నాడు. కాని కనుక్కున్న వెంటనే తను సాధించిన ఫలితాలని చార్లెస్ ప్రచురించలేదు. వైజ్ఞానిక ప్రపంచంలో ఒక విషయాన్ని ప్రచురిస్తేగాని దాన్ని కనుక్కున్నట్టు లెక్క కాదు. ఏదేమైనా చివరికి పై నియమాన్ని చార్లెస్ పేరు మీద చార్లెస్ నియమం అని పిలవసాగారు.

నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రత (Absolute Temperature)

ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంటే వస్తువులు వ్యాకోచిస్తాయన్న విషయం వల్ల ఒక వింతైన సమస్య తలెత్తుతుంది. ఉష్ణోగ్రత పెంచుతుంటే ఒక వస్తువు అంతులేకుండా వ్యాకోచిస్తుందన్న విషయాన్ని ఊహించుకోవచ్చు కాని ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంటే ఒక వస్తువు అనవధికంగా కుంచించుకుంటుందా? ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంటే వస్తువు కూడా సమంగా కుంచించుకుంటుంటే, ఒక దశలో సున్నా ఆయతనానికి వస్తుందా? ఈ విచిత్రమైన సమస్య వాయువుల విషయంలో ఇంకా కొట్టొచ్చినట్టు కనిపిస్తుంది. ఎందుకంటే ద్రవాల కన్నా, ఘనపదార్థాల కన్నా ఇవి మరింత వేగంగా కుంచించుకుంటాయి.

ఉదాహరణకి 0 ^{0}C వద్ద ఒక వాయువు ఆయతనం V, అనుకుందాం. ఇప్పుడు దాని ఉష్ణోగ్రత 0 కన్నా T డిగ్రీలు తగ్గిస్తే దాని ఆయతనంలో వచ్చే మార్పు V + $\triangle$V, అవుతుంది. పై సమీకరణం ప్రకారం, ఆయతనంలో మార్పు,

$$\triangle V = V(\triangle t)/ 273 = V (-T)/ 273$$

కాబట్టి ఈ కొత్త ఉష్ణోగ్రత (-T ^{0}C) వద్ద ఆయతనం విలువ,

$$V + \triangle V = V + V(-T)/ 273$$

ఇప్పుడు T విలువ 273 ^{0}C అనుకుంటే, వాయువు కొత్త ఆయతనం విలువ,

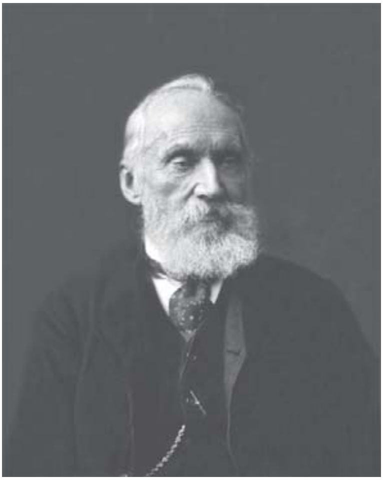
$$V + V(-273)/ 273 = V - V = 0$$

అంటే వాయువు ఉష్ణోగ్రతని -273 ^{0}C వద్దకి తీసుకుపోతే, వాయువు ఆయతనం సున్నా అవుతుందన్నమాట!

భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు ఇలాంటి ఫలితాలని చూసి బెంబేలు పడిపోరు.

ఎందుకంటే -273 ^{0}C ఉష్ణోగ్రత చేరుకునే లోగా వాయువులన్నీ ద్రవీభవిస్తాయని వారి నమ్మకం. మరి ద్రవాల ఆయతన వ్యాకోచ గుణకం చాలా తక్కువగా ఉంటుందని వారికి తెలుసు. అది నిజం కాకపోయినా గే లుసాక్ నియమం అంత తక్కువ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద వర్తించకపోవచ్చు. ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంటే, ప్రత్యేకించి అంత తక్కువ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఆయతనం వ్యాకోచ గుణకం కూడా క్రమంగా తగ్గిపోవచ్చు. కాబట్టి ఆయతనం కూడా తగ్గుతూనే ఉన్నా, అది తగ్గే వేగం ఇంకా ఇంకా తక్కువ అవుతూ ఉండొచ్చు. కాబట్టి పదార్థం ఆయతనం ఒక విలువ కన్నా తగ్గకపోవచ్చు. ఈ విషయం గురించి మొదట్లో ఎవరూ పెద్దగా ఆలోచించలేదు.

అలాగని -273 ^{0}C అనే ఈ విచిత్ర ఉష్ణోగ్రతని అంతా మర్చిపోయారని కాదు. 1848లో విలియం థామ్సన్ అనే బ్రిటిష్ భౌతికశాస్త్రవేత్త –273 ^{0}C అనే విలువ సాధ్యమైన అతి తక్కువ ఉష్ణోగ్రత కావచ్చని సూచించాడు. అంత తక్కువ ఉష్ణోగ్రత ఉండదు కాబట్టి దాన్ని 0 డిగ్రీల నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రత (absolute temperature) అన్నాడు. ఈ -273 ^{0}C సున్నా డిగ్రీలు అనుకుని, అక్కడినుంచి డిగ్రీల సెంటీగ్రేడ్‌లతో ఉష్ణోగ్రతని కొలుస్తూ పోతే అదే నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రత అనే కొత్త కొలమానం అవుతుంది. ఈ కొత్త కొలమానాన్ని ^{0}A అని (A అనే అక్షరం Absoluteని సూచిస్తుంది). లేదా ^{0}K అని (K అనే అక్షరం Kelvinని సూచిస్తుంది) సూచిస్తారు.



లార్డ్ కెల్విన్

కాబట్టి కెల్విన్ మానాన్ని సెల్సియస్ మానంగా మార్చాలంటే 273ని కలిపితే చాలు. నీరు 0 ^{0}C వద్ద ఘనీభవిస్తుంది, కాబట్టి 273 K వద్ద ఘనీభవిస్తుంది అన్నమాట. ఆవిరి అయ్యేది 100 ^{0}C వద్ద అంటే 373 ^{0}K వద్ద అన్నమాట. సామాన్యంగా సెల్సియస్ మానంలో ఉష్ణోగ్రతని చిన్న అక్షరం ‘t’ తోను, కెల్విన్

మానంలో ఉష్ణోగ్రతని పెద్ద అక్షరంగా 'T' తోను సూచించడం పరిపాటి.

$T = t + 273$ (5)

కెల్విన్ మానంతో వచ్చిన ఒక సౌకర్యం ఏమిటంటే, కొన్ని కొన్ని భౌతిక సంబంధాలని t తో కన్నా T తో మరింత తేలికగా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు. ఉదాహరణకి ఒక వాయువు ఆయతనాన్ని (volume) ఉష్ణోగ్రత ప్రమేయంగా వ్యక్తం చెయ్యాలి అనుకుందాం. ఉష్ణోగ్రత t1 అయినప్పుడు ఆయతనం v1 అనుకుందాం. తరవాత ఉష్ణోగ్రత t2 అయినప్పుడు ఆయతనం v2 అయ్యింది అనుకుందాం. ఇప్పుడు 0 c వద్ద వాయువు ఆయతనం v అనుకుంటే, ఆ ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాయువు వ్యాకోచ గుణకం 0.00366 కాబట్టి, t1 వద్ద ఆయతనంలో మార్పుని ఇలా రాసుకోవచ్చు:

$V_1 - V = 0.00366\ V\ (t_1)$

లేదా

$V_1 = V\ (1 + 0.00366\ t_1)$

$= V\ (1 + t_1/ 273) = V\ (1 + (T_1-273)/ 273) = V\ T_1/ 273$

అలాగే t_2 వద్ద ఆయతనంలో మార్పుని ఇలా సూచించవచ్చు.

$V_2 - V = 0.00366\ V\ (t_2)$

$V_2 = V\ (1+0.00366\ t_2) = V\ (1 + t_2/ 273) = V\ (1+ (T_2 -273)/ 273) = V\ T_2/ 273$ (6)

కాబట్టి మనకిప్పుడు

$V_1 = V\ T_1/ 273$, అని (7)

$V_2 = V\ T_2/ 273$, అని (8)

రెండు ఫలితాలు ఉన్నాయి. ఈ రెండు సమీకరణాలని ఒకదానితో ఒకటి భాగారిస్తే,

$V_1/ V_2 = T_1/ T_2$ (9)

అనే సరళమైన ఫలితం మిగులుతుంది. ఉష్ణోగ్రతని కెల్విన్ మానంలో వ్యక్తం చెయ్యడం వల్ల ఇదే లాభం.

ఒక వాయువు ఆయతనం దాని కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రత బట్టి అనులోమంగా

మారుతుంటుంది అని పై సమీకరణాన్ని బట్టి మనకి తెలుస్తుంది. అయితే ఇక్కడ వాయువు పీడనం స్థిరంగా ఉందని అనుకోవాలి.

ఎందుకంటే పీడనం మారితే ఉష్ణోగ్రత మారకపోయినా ఆయతనం మారుతుంది. ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు పీడనానికి ఆయతనానికి మధ్య సంబంధాన్ని వ్యక్తం చేసేదే బాయిల్ నియమం. బాయిల్ నియమం ప్రకారం, ఉష్ణోగ్రతని T_1 అనే స్థిర విలువ వద్ద నిలిపినప్పుడు P_1, P_2 అనే పీడనాల వద్ద ఒక వాయువు ఆయతనం V_1, V_x లు అయితే ఈ రాశుల మధ్య సంబంధాన్ని ఇలా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు:

$$P_2 V_x = P_1 V_1 \qquad (10)$$

అంటే పీడనాన్ని P_1 నుంచి P_2కి మార్చినప్పుడు, ఆయతనం V_1 నుంచి V_xకి మారింది అన్నమాట. అయితే ఈ మార్పు ఉష్ణోగ్రతలో మార్పు వల్ల వచ్చింది కాదని గుర్తుంచుకోవాలి. ఇప్పుడు పీడనాన్ని P_2 వద్దే ఉంచి, ఉష్ణోగ్రతని T_2కి పెంచితే, ఆయతనం కొత్త విలువ, V_2 ని మళ్ళీ గే-లుసాక్ నియమం ప్రకారం ఇలా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు:

$$V_2/ V_x = T_2/ T_1 \qquad (11)$$

ఈ సమీకరణం నుంచి వచ్చిన V_x విలువని పై సమీకరణం (10)లో ప్రతిక్షేపిస్తే,

$$P_2 (V_2 T_1/ T_2) = P_1 V_1 \qquad (12)$$

పై సమీకరణంలో రాశుల స్థానాలని కొద్దిగా మార్చి రాస్తే,

$$P_2 V_2/ T_2/ = P_1 V_1/ T_1 \qquad (13)$$

అంటే ఒక వాయు రాశికి సంబంధించి PV/ T అనే రాశి మారదు అన్నమాట. ఆ మారని స్థిరాంకాన్ని Rగా సూచిస్తే,

$$PV = RT \qquad (14)$$

అనే సూత్రం వస్తుంది. అయితే వాస్తవ వాయువుల మీద కొలతలు తీసుకుంటే పై నియమాన్ని వాయువు కచ్చితంగా సంతృప్తి పరచదు. వాస్తవ వాయువుల విషయంలో పై నియమం ఉజ్జాయింపుగా మాత్రమే సరిపోతుంది. ఒక పరిపూర్ణమైన, ఆదర్శవంతమైన వాయువు అనేది ఉంటే దానికి పై నియమం

వర్తిస్తుంది. అందుకే పై నియమాన్ని ఆదర్శ వాయు నియమం (Ideal Gas Equation) అంటారు.

ఉష్ణం

వాయు చలన సిద్ధాంతం (Kinetic Theory of Gases)

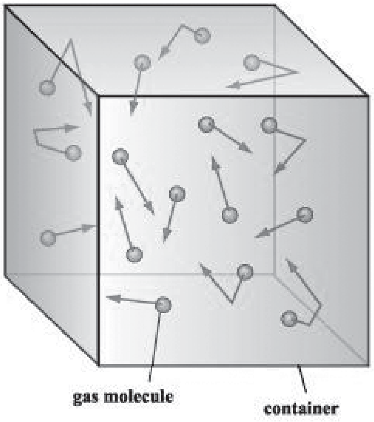
వాయు రాశిలో నిండా ఉన్నది పరమాణు రాశి అన్న భావనే నిజం అయితే ఇంతవరకు మనం చెప్పుకున్న వాయు ధర్మాలని పరమాణు సిద్ధాంతంతో వివరించడానికి సాధ్యం కావాలి. అలాంటి ప్రయత్నాన్ని మొట్టమొదటిసారిగా 1738లో చేసినవాడు బెర్నూలీ.

వాయువులో ఉన్న రేణువులు (పరమాణువులు, అణువులు) అన్నీ దూర దూరంగా ఉన్నాయంటే అవి నిరంతరం కదులుతూ ఉండొచ్చు అని అనుకోవచ్చు. అలా కాకుండా వాయువులో ఉండే రేణువులు అన్నీ నిశ్చలంగా ఉన్నాయంటే గురుత్వ ప్రభావంతో అన్నీ పాత్ర అడుక్కి చేరి అక్కడే ఉండిపోతాయి. ద్రవాల, ఘనాల విషయంలో సరిగ్గా అదే జరుగుతుంది. ఈ పదార్థాలలో రేణువులు పూర్తిగా స్వేచ్ఛగా కదలలేవు. అందుకే అవి పాత్ర అడుక్కి ప్రవహించి, లేదా దొర్లి పాత్ర అడుగు భాగంతో సంపర్కాన్ని పొందుతాయి. కాబట్టి వాయువులో ఉండే రేణువులు ఒక దాంతో ఒకటి ప్రమేయం లేకుండా, స్వేచ్ఛగా కదులుతూ ఉంటాయన్న భావనే వాయు చలన సిద్ధాంతానికి (Kinetic Theory of Gases) ఆధారం. (గ్రీకు భాషలో Kinetic అంటే చలనం అని అర్థం).

ప్రస్తుతానికి మాత్రం మనం వాయువులో రేణువులు స్వేచ్ఛగా ఎందుకు కదులుతున్నాయి, ఎలా కదులుతున్నాయి అని ప్రశ్నించకుండా ముందుకు సాగిపోదాం. మరో విషయం ఏమిటంటే వాయు రేణువుల గతిశక్తి భూమి గురుత్వాకర్షణ శక్తిని అధిగమించేట్టుగా ఉండాలి. వాయు రేణువు మీద భూమి గురుత్వాకర్షణ బలం భూమి ద్రవ్యరాశి, ఆ రేణువు ద్రవ్యరాశి లబ్దం మీద ఆధారపడి ఉంటుందని మనం గుర్తు తెచ్చుకోవాలి. భూమి ద్రవ్యరాశి ఎక్కువే అయినా, వాయు రేణువు ద్రవ్యరాశి అతి సూక్ష్మం కాబట్టి దాని మీద

గురుత్వాకర్షణ శక్తి చాలా తక్కువగా ఉంటుంది.

కాని ఏ మాటకి ఆ మాటే చెప్పాలి. ఒక పాత్రలో ఉండే చిన్న వాయు రాశి మీద గురుత్వం తక్కువగా ఉండొచ్చు కాని ఒక విశాల వాయు రాశి మీద గురుత్వం గణనీయంగానే ఉండొచ్చు. ఉదాహరణకి భూమి చుట్టూ ఆవరించి ఉండే వాతావరణం భూమిని అంటి పెట్టుకుని ఉండడానికి కారణం భూమి గురుత్వమే. భూమిని కప్పి ఉన్న వాయు రేణువులలో అధిక శాతం భూమి ఉపరితలం నుండి కేవలం కొద్ది మైళ్ళ పరిధిలోనే ఉంటాయి. అంతకన్నా ఎత్తుకి వెళితే వాతావరణం బాగా పలచన అయిపోతుంది కాని ఒక చిన్న పాత్రలో ఉండే వాయువు మీద మాత్రం గురుత్వం తక్కువ అని అనుకోవచ్చు. కాబట్టి అలాంటి వాయు రాశిలో రేణువులు పైకి కిందకి, పక్కకి అలా అన్ని దిశలలో ఒకే విధంగా స్వేచ్ఛగా కదులుతుంటాయి.



ఒక పాత్రలో వాయు రేణువులు అన్నీ విచ్చలవిడిగా అన్ని దిశలలో ఒకే విధంగా కదులుతుంటాయి. కాబట్టే, పాత్రలో వాయువు సమంగా వ్యాపించి ఉంటుంది. అలా కదలని పక్షంలో పాత్రలో కొన్ని భాగాలలో వాయువు ఎక్కువగాను, కొన్నిచోట్ల తక్కువగాను విస్తరించి ఉండాలి. ఒక పాత్రలోని వాయు రాశిని మరింత పెద్ద పాత్రకి మారిస్తే ఆ పాత్రలో మరింత పలచగా, సమంగా విస్తరిస్తుంది. ఆ వాయు రాశిని తిరిగి చిన్న పాత్రకి మారిస్తే ఆ చిన్న

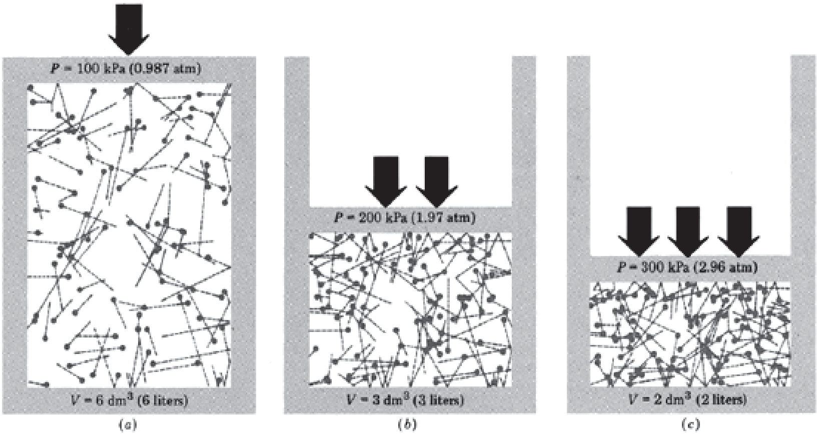
పాత్రలోనే మరింత సాంద్రంగా విస్తరిస్తుంది.

అలా ఒకదాంతో ఒకటి సంబంధం లేకుండా నిరంతర చలనంలో ఉన్న వాయు రేణువులు, చిరకాలం అన్య రేణువుల ప్రభావానికి లోను కాకుండా కదలలేవు. ప్రతి రేణువు ఎప్పుడో అప్పుడు ఇతర రేణువులతో ఢీ కొట్టాల్సిందే. లేదా పాత్ర గోడలని ఢీకొనాల్సిందే. ఈ రేణువులకి పరిపూర్ణమైన స్థితిస్థాపక (elastic) గుణం ఉందని అనుకుందాం. అంటే ఒక రేణువు మరో రేణువుని ఢీ కొన్నప్పుడుగాని, గోడలని ఢీకొన్నప్పుడుగాని శక్తిని కోల్పోదన్నమాట. అదే జరిగితే పదే పదే ఢీ కొంటున్న రేణువులు ఒక దశలో శక్తిని పూర్తిగా కోల్పోయి, కదలడం ఆగి పాత్ర అడుక్కి చేరాలి. కానీ అలా జరగదని మనకి తెలుసు. ఒక పాత్రలో వాయువుని తీసుకుంటే అది ఎప్పటికీ ఆ వాయువుతో పూర్తిగా నిండి ఉంటుంది, అంతేకాని కాసేపు అయ్యాక వాయువు అంతా పాత్ర అడుక్కి చేరదు.

వాయు రేణువులు పదే పదే పాత్ర గోడలని ఢీకొనడం మూలంగానే పీడనం (pressure) అనే లక్షణం ఉత్పన్నం అవుతోందని బెర్నూలీ సూచించాడు. గోడని ఢీకొనే ప్రతి రేణువు దాని మీద కాస్తంత బలాన్ని ప్రయోగిస్తుంది. ఒక యూనిట్ వైశాల్యం మీద వాయు రేణువులు ప్రయోగించే మొత్తం బలాన్నే పీడనం అంటారు. అంటే పాత్ర గోడల మీద వాయు రేణువుల తాకిడుల సముదాయమే పీడనం అన్నమాట. అయితే ఒక్కొక్క రేణువు తాకిడి అతి సూక్ష్మంగా ఉంటుంది కాబట్టి అలాంటివి సెకనుకి కోటానుకోట్ల సార్లు జరుగుతుంటాయి. కాబట్టి వాటి ఉమ్మడి ప్రభావం సమంగా నిరంతరాయంగా జరిగే పీడనంలా అనిపిస్తుందిగాని, వేరువేరుగా జరిగే తాకిళ్ళలా అనిపించదు. మరో విషయం ఏమిటంటే రేణువులు అన్ని దిశలలో ఒకే విధంగా కదులుతుంటాయి కాబట్టి పీడనం కూడా అన్ని దిశలలో ఒకే విధంగా ఉంటుంది.

ఒక పాత్రలో కొంత వాయువు ఉందని అనుకుందాం. దాని పైభాగంలో బాగా చమురు పూసిన, రాపిడి లేని ఒక పిస్టన్ పైకి కిందకి కదలగలిగేట్టుగా ఉందని అనుకుందాం. లోన పీడనానికి సరితూగేట్టుగా పిస్టన్ మీద కొన్ని బరువులు పెట్టి ఉన్నాయి. ఆ బరువులలో ఒక దాన్ని తీసేస్తే పైన పిస్టన్‌ని

కిందకి నొక్కుతున్న బాహ్య బలం కొంచెం తగ్గుతుంది. ఇప్పుడు పిస్టన్‌ని కిందకి నొక్కే బలం కన్నా, లోనుండి పైకి తన్నే బలం కొంచెం ఎక్కువై పిస్టన్ పైకి జరుగుతుంది.



కాని పిస్టన్ పైకి కదులుతుంటే పాత్రలో వాయువు ఆయతనం (volume) పెరుగుతుంది. ఆయతనం పెరుగుతున్న కొద్ది పాత్రలో ప్రతి రేణువు పిస్టన్ అడుగు భాగాన్ని చేరుకోడానికి మరింత ఎక్కువ దూరం ప్రయాణించాలి. అంటే ఒక సెకనుకి పిస్టన్‌మీద రేణువులు జరిపే విఘాతాలు (collisions) మరింత తక్కువ అవుతాయి. అంటే రేణువులు ప్రయాణించే దూరం పెరగడం వల్ల అవి పిస్టన్‌ని ఢీకొనే సందర్భాలు తగ్గాయి అన్నమాట. విఘాతాల సంఖ్య తగ్గిందంటే పీడనం తగ్గింది అన్నమాటే. కాబట్టి నియమం చెప్పినట్టుగానే పీడనం తగ్గితే ఆయతనం పెరుగుతుందని మనకి అర్థమవుతోంది.

ఇందాక పిస్టన్ మీద బరువులు తగ్గించాం. ఇప్పుడు కొన్ని అదనపు బరువులు పెట్టాం అనుకుందాం. ఆ అదనపు బరువుల వల్ల పిస్టన్ ఆ భారానికి కొంచెం కిందకి దిగుతుంది. పిస్టన్ కిందకి దిగుతుంటే ఆయతనం తగ్గుతూ వస్తుంది. ఆయతనం తగ్గడం వల్ల రేణువులు పిస్టన్ అడుగు భాగం చేరడానికి ప్రయాణించాల్సిన దూరం తగ్గుతుంది. కాబట్టి ఒక సెకనులో పిస్టన్ మీద రేణువులు జరిపే విఘాతాల సంఖ్య పెరుగుతుంది. దాంతో పీడనం

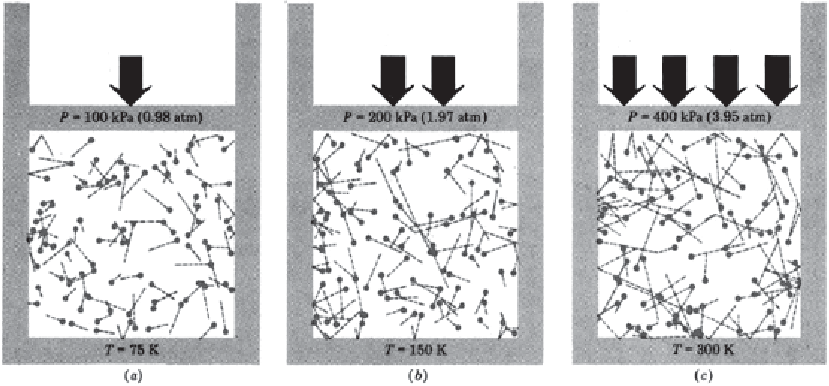
పెరుగుతుంది. అలా ఒక దశలో పిస్టన్ మీద ఉంచిన అదనపు బరువులకి ఈ అధిక పీడనం సరితూగేటంత వరకు పీడనం పెరుగుతుంది. ఆ విధంగా పిస్టన్ మీద బరువులు పెంచడం వల్ల వాయువు ఆయతనం తగ్గుతుంది, పీడనం పెరుగుతుంది. బాయిల్ సూత్రం ప్రకారమే మరొకసారి జరిగింది.

పైన బెర్నూలీ చెప్పిన విషయాల ప్రకారం వాయువు ఆయతనం మీద పీడనం ప్రభావం ఎలా ఉంటుందో, వాయు చలన సిద్ధాంతం ప్రకారం అర్థం చేసుకోవడానికి వీలయ్యింది కాని వాయువు ఆయతనం మీద, పీడనం మీద కూడా ఉష్ణోగ్రత ప్రభావం ఎలా ఉంటుందో అర్థం చేసుకోడానికి వాయు చలన సిద్ధాంతాన్ని మరింత విస్తరించాల్సిన అవసరం వచ్చింది. ఆ విస్తరణ జరగడానికి మరో నూరేళ్ళు ఆగాల్సి వచ్చింది.

కఠినమైన గోడలు కలిగి మూసి ఉన్న ఒక పాత్రలో ఒక వాయువు బంధించి ఉందని అనుకుందాం. ఇప్పుడు వాయువు ఉష్ణోగ్రత పెంచితే, గోడల మీద దాని పీడనం పెరుగుతుంది. ఈ ప్రభావాన్ని మొట్టమొదట గమనించినవాడు ఆమంట్సన్. పైన ఇచ్చిన ఆదర్శ వాయు సమీకరణాన్ని బట్టి కూడా అలాంటి పరిమాణాన్ని మనం ఊహించవచ్చు. ఆయతనం, పీడనాల లబ్ధం, నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రతకి అనులోమంగా మారిన పక్షంలో, ఆయతనం స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు పీడనం నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రతకి అనులోమంగా మారుతుందని తేటతెల్లంగా తెలుస్తోంది.

వాయు చలన సిద్ధాంతం ప్రకారం పాత్ర గోడల మీద వాయు రేణువుల విఘాతాల సంఖ్య పెరిగినప్పుడు మాత్రమే పీడనం పెరుగుతుంది. కాని వాయువు ఆయతనం తగ్గి, ఉష్ణోగ్రత పెరిగినప్పుడు, గోడలని చేరడానికి రేణువులు కదలవలసిన దూరం మారదు. మరి దూరం పెరగకపోయినా, ఉష్ణోగ్రత పెరిగినప్పుడు పీడనం పెరుగుతోందంటే రేణువులు మరింత వేగంగా కదులుతున్నాయని అనుకోవాలి. రేణువుల వేగం పెరిగినప్పుడు అవి మరింత తరచుగా గోడలని చేరుకోవడమే కాదు గోడలని మరింత బలంగా కూడా ఢీకొంటాయి. అదే విధంగా ఉష్ణోగ్రత తగ్గినప్పుడు, రేణువులు మరింత నెమ్మదిగా కదులుతాయి.

ఇప్పుడు రాపిడి లేకుండా, బరువు పెట్టిన పిస్టన్ కింద ఒక పాత్రలో, ఒక ప్రత్యేక పీడనం వద్ద కొంత వాయువు ఉందని అనుకుందాం. పిస్టన్ కిందకి నొక్కుతుంటే వాయు పీడనం దాన్ని పైకి తోస్తుంటుంది. ఇప్పుడు వాయువు ఉష్ణోగ్రత పెంచితే వాయు రేణువులు మరింత వేగంగా కదలడం



మొదలుపెడతాయి. దాంతో అవి మరింత తరచుగా, మరింత బలంగా పిస్టన్‌ని ఢీకొంటూ ఉంటాయి కాబట్టి వాయువు పిస్టన్‌ని పైకి తోసే బలం పెరుగుతుంది కాబట్టి పిస్టన్ పైకి లేస్తుంది, అంటే వాయువు ఆయతనం పెరుగుతుంది. అయితే ఇలా ఆయతనం ఒక దశ వరకే పెరిగి ఆగిపోతుంది. ఎందుకంటే ఆయతనం పెరుగుతుంటే వాయు రేణువులు పిస్టన్‌ని చేరుకోడానికి మరింత దూరం ప్రయాణించాల్సి వస్తుంది. దాంతో పిస్టన్ మీద వాటి పీడనం పిస్టన్ బరువుతో సరితూగేటంత వరకు తగ్గుతుంది. పిస్టన్ పైకి కదలడం ఆగిపోతుంది. కాబట్టి ఉష్ణోగ్రత పెంచినప్పుడు వాయువు ఆయతనం పెరుగుతుందని అర్థమవుతోంది. ఆ విధంగా వాయు చలన సిద్ధాంతాన్ని ఆధారంగా చేసుకుని గే-లుసాక్ సూత్రానికి ఒక వివరణ ఇవ్వొచ్చు.

ఇంతవరకు వాయు చలన సిద్ధాంతానికి, వాయు ధర్మాలకి మధ్య సంబంధం గురించి గణిత సమీకరణాలని వాడకుండా కేవలం మాటలతో చెప్పుకున్నాం. కాని 1860లలో జేమ్స్ క్లార్క్ మాక్స్వెల్ (1831-1879) అనే స్కాట్లండ్‌కి చెందిన భౌతిక శాస్త్రవేత్త, అలాగే ఆస్ట్రియాకి చెందిన లుడ్విగ్

బోల్జ్మన్ (1844–1906) అనే భౌతిక శాస్త్రవేత్త ఈ వాయు చలన సిద్ధాంతానికి నిర్దిష్టమైన గణిత పునాదులు వేశారు. అందులోని ముఖ్య భావనలని ఒకసారి పరిశీలిద్దాం.

'a' మీటర్ల పొడవు, 'b' మీటర్ల వెడల్పు, 'c' మీటర్ల ఎత్తు గల ఒక తొట్టెని తీసుకుందాం. దాని ఆయతనం abc ఘన మీటర్లు అవుతుంది. ఈ తొట్టెలో m ద్రవ్యరాశి ఉన్న N రేణువులు అన్నీ v m/s వేగంతో కదులుతున్నాయని అనుకుందాం.

వాయు రేణువులు కదులుతూనే ఉన్నా వాయు రాశి మొత్తం చలనం ఏ ప్రత్యేక దిశలోనూ జరగడం లేదు కాబట్టి వాయు రేణువులు అన్ని దిశలలోనూ సమానంగా కదులుతున్నాయని అనుకోవాల్సి ఉంటుంది. ప్రతి రేణువు గమనాన్ని ఒక సదిశ (vecton)గా ఊహించుకుంటే, ఆ సదిశకి మూడు అంశాలు (components) ఉంటాయి. తొట్టె పొడవు, వెడల్పు, ఎత్తులకి సమాంతరంగా ఈ అంశాలు ఉంటాయి. రేణువుల చలనం అన్ని దిశలలోనూ సమానంగా ఉంది కాబట్టి, 1/3 వంతు రేణువుల చలనం తొట్టె పొడవుకి సమాంతరంగాను, 1/3 వంతు రేణువుల చలనం తొట్టె వెడల్పుకి సమాంతరంగాను, 1/3 వంతు రేణువుల చలనం తొట్టె ఎత్తుకి సమాంతరంగాను ఉన్నట్టు ఊహించుకోవచ్చు. అంటే మొత్తం వాయు రాశిలో మూడు ధారలు – ఒకటి ముందుకి/ వెనక్కి, మరొకటి ఎడమకి/ కుడికి, మూడోది పైకి/ కిందకి కదులుతున్నాయన్నమాట.

రేణువులన్నీ నిరంతరం ఒకదాన్ని ఒకటి ఢీకొంటూ దిశని మార్చుకుంటున్నాయి కాని రేణువులు elastic తత్వంగలవి అనుకున్నాం కాబట్టి రెండు రేణువులు ఢీకొన్నప్పుడు వాటి మొత్తం ద్రవ్య వేగం (momentum)లో మార్పు రాదు. అంటే ఢీకొన్నప్పుడు ఒక రేణువు చలనంలో ఒకలాంటి మార్పు జరిగితే దానికి తులతూగేలాంటి మార్పు రెండో రేణువులో జరుగుతుంది. ఈ కారణం చేత రేణువుల మధ్య జరిగే ఈ గుద్దులాటలని మనం పట్టించుకోబోవడం లేదు.

ఇప్పుడు తొట్టెలో పొడవుగా ఉన్న అంచు (a మీటర్లు)కి సమాంతరంగా కదులుతున్న (వేగం = v m/s) ఒక రేణువు మీద దృష్టి సారిద్దాం. ఆ రేణువు

దాని గమన దిశకి అడ్డుగా, ఎదురుగా ఉన్న గోడని (వెడల్పు b మీటర్లు, ఎత్తు c మీటర్లు) ఢీకొంది అనుకుందాం. గోడని తాకిన వెంటనే అది వెనక్కు తుళ్ళి మునుపటి వేగంతో, వ్యతిరేక దిశలో (వేగం= v m/ s) కదలడం మొదలు పెడుతుంది. గోడని ఢీకొనడానికి ముందు దాని ద్రవ్య వేగం mv అయితే, ఢీకొన్నాక ద్రవ్య వేగం −mv కాబట్టి, ద్రవ్యవేగంలో మార్పు (mv − (−mv) = 2mv).

ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ సూత్రం ఉంది కాబట్టి రేణువు ద్రవ్యవేగంలో వచ్చిన మార్పుకి సరితూగే మార్పు గోడ ద్రవ్య వేగంలో రావాలి. గోడని ఢీకొన్న రేణువు ఏ దిశలో అయితే తోయబడిందో అందుకు వ్యతిరేక దిశలో గోడ తోయబడుతుంది అన్నమాట. అంటే ఒక్క రేణువు ఢీకొనడం వల్ల గోడ ద్రవ్యవేగంలో వచ్చిన మార్పు 2mv అన్నమాట.

ఇందాక గోడని ఢీకొని వెనక్కి తుళ్ళిన రేణువు వ్యతిరేక దిశలో ప్రయాణిస్తూ, ఇందాకటి గోడకి అభిముఖంగా ఉండే గోడని ఢీకొంటుంది. అక్కడి నుండి మళ్ళీ వెనక్కు తుళ్ళి మళ్ళీ మునుపటి గోడ వైపుకి ప్రయాణిస్తుంది. ఇలా ఆ రేణువు వెనక్కు ముందుకు ప్రయాణిస్తూ ఉంటుంది. తొట్టె పొడవుకి (a మీటర్లు) సమాంతరంగా ఒకసారి ముందుకి/ వెనక్కి (2a మీటర్లు) ప్రయాణించడానికి పట్టే కాలం = 2a/v అవుతుందని తేలికగా గుర్తించవచ్చు. అంటే ఒక సెకనుకి గోడని ఆ రేణువు v/(2a) సార్లు ఢీకొంటోంది అన్నమాట.

ఒక్క రేణువు గోడ మీద ప్రయోగించే బలం = ఒక్క అభిఘాతం వల్ల ద్రవ్యవేగంలో వచ్చే మార్పు X ఒక సెకనులో జరిగే అభిఘాతాల సంఖ్య

$$= (2\ m v)\ X\ v/(2a)$$

$$= mv^2/a$$

తొట్టెలో మూడో వంతు (N/3) రేణువులు తొట్టె పొడవుకి సమాంతరంగా ఒకే వేగంతో కదులుతున్నాయి కాబట్టి, అవన్నీ కలిసి ప్రయోగించే బలం = (N/3) X $(mv^2/a) = Nmv^2/(3a)$

యూనిట్ వైశాల్యం మీద పని చేసే బలాన్నే పీడనం అంటారు. ఇంతవరకు మనం పరిగణిస్తున్న గోడ వెడల్పు b మీటర్లు, ఎత్తు c మీటర్లు కాబట్టి దాని

వైశాల్యం bc sq. m అవుతుంది కాబట్టి ఆ గోడ మీద రేణువులు చూపే పీడనం

$= Nmv^2/(3a) \times 1/(bc) = Nmv^2/(3abc)$

పైన కనిపించే రాశిలో 'abc' అనేది తొట్టె ఆయతనం Vతో సమానం కాబట్టి పైన లెక్కించిన పీడనాన్ని ఇలా వ్యక్తం చెయ్యవచ్చు.

$P = Nmv^2/(3V) = N/(3V) \times [mv^2] = 2N/(3V) \times [1/2\ mv^2]$

ఇక్కడ $[1/2\ mv^2]$ అనే రాశి ఒక రేణువు గతిశక్తి E_kని సూచిస్తుంది. కాబట్టి పై సమీకరణాన్ని ఇలా కూడా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు.

$P = 2N/(3V) \times E_k$

లేదా

$PV = (2N/3) \times E_k$

తొట్టెలోని వాయు రేణువుల సంఖ్య మారదు కాబట్టి 2N/3 విలువ మారదు. పై సమీకరణం ప్రకారం PV అనే రాశి వాయువులో రేణువుల గతిశక్తిని అనులోమానుపాతంగా మారుతుంది. కిందటి విభాగంలో, సమీకరణం (14) ప్రకారం, PV అనే రాశి వాయువు నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రతకి అనులోమానుపాతంగా మారుతుందని తెలుసుకున్నాం.

ఈ రెండు ఫలితాలని కలుపుకుంటే ఒక వాయువులో రేణువుల గతిశక్తి ఆ వాయువు నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రతకి అనులోమానుపాతంగా మారుతుందని అర్థమవుతుంది.

ఇంతవరకు వాయువులో రేణువులు అన్నీ ఒకే వేగం వద్ద కదులుతాయని అనుకున్నాం కాని వాస్తవంలో అలా జరగదు. ఆదిలో రేణువులన్నిటి వేగం ఒకటే అనుకున్నా, అవి ఒకదాంతో ఒకటి ఢీకొంటూ ఉన్నప్పుడు, వాటి మధ్య ద్రవ్య వేగం వినిమయం జరుగుతూ ఉంటుంది కాబట్టి వాటి మొత్తం ద్రవ్యవేగంలో మార్పు రాకున్నా వాటి వేగాలలో గొప్ప వైవిధ్యం, వ్యాప్తి ఏర్పడుతుంది.

వివిధ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద రేణువుల వేగ విస్తరణ (distribution) ఎలా ఉంటుందో తెలిపే ఒక సమీకరణాన్ని మాక్స్వెల్ నిరూపించాడు. వేగంలో విస్తరణ ఉన్నప్పుడు గతిశక్తిలో కూడా విస్తరణ ఉంటుంది కాబట్టి సగటు

వేగం తెలిస్తే, మాక్స్వెల్ సమీకరణం సహాయంతో సగటు గతిశక్తిని కూడా లెక్కించొచ్చు. ఏ ఉష్ణోగ్రత వద్దనైనా, బాగా తక్కువ గతిశక్తి గల రేణువులు ఉంటాయి, బాగా ఎక్కువ గతిశక్తి గల రేణువులూ ఉంటాయి. కాని వాటి సగటు గతిశక్తి మాత్రం నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రతకి అనులోమానుపాతంగా మారుతుంది.

కాబట్టి వాయుచలన సిద్ధాంతం ప్రకారం ఒక వాయు రాశి అంతరంగ శక్తి, ఆ వాయురాశిలోని రేణువుల గతిశక్తి మొత్తంతో సమానం. అలాగే వాయువు నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రత అంటే ఆ వాయు రాశిలోని రేణువుల సగటు ఒక కొలమానంగా అర్థం చేసుకోవచ్చు.

నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రత అన్న భావనకి ఒక కొత్త అర్థాన్ని వాయు చలన సిద్ధాంతం ఇస్తుంది. గే-లుసాక్ నియమం ప్రకారం నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రత అంటే వాయు రాశి ఆయతనం సున్నా అయ్యే ఉష్ణోగ్రత అన్న అర్థం వస్తుంది. (కాని వాస్తవంలో నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రతని చేరే లోపే వాయువు ద్రవీభవిస్తుంది, లేదా ఘనీభవిస్తుంది కాబట్టి, గే-లుసాక్ నియమం ఇక వర్తించదు). నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాయు రేణువుల గతి శక్తి పూర్తిగా సున్నా కాదు కాని ఒక కనీస విలువని చేరుకుంటుంది. అంతకన్నా తక్కువ గతిశక్తిని సాధించడం సాధ్యం కాదు. ఎందుకంటే అంతకన్నా తక్కువ ఉష్ణోగ్రత ఉండడం అసంభవం.

వాస్తవ వాయువులు

బాయిల్ నియమం కనుక్కున్న నాటినుండి ఒక మూడు శతాబ్దాల కాలం పాటు, ఆ నియమం శాస్త్రవేత్తలకి శిరోధార్యం అయింది. కాని చిక్కేమిటంటే వాటిలో మొదటి రెండు శతాబ్దాల కాలం, అది పూర్తిగా కచ్చితమైన, దోషరహితమైన నియమం అన్న తప్పుడు నమ్మకం ఉండేది. కాని బాయిల్ నియమం పూర్తిగా సరికాదని అదొక ఉజ్జాయింపు మాత్రమేనని స్పష్టీకరించినవాడు ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్త హెన్రీ విక్టర్ రెనాల్ట్ (1810-1978). 1850లలో ఇతగాడు వాయువులతో ఎన్నో ప్రయోగాలు చేశాడు. వివిధ వాయువులని తీసుకుని ఉష్ణోగ్రతని (T) స్థిరంగా ఉంచి, పీడనాన్ని (P) మారుస్తూ, వాటి ఆయతనాన్ని (V) కొలుస్తూ వచ్చాడు. అనుకున్నట్టుగా PV పూర్తిగా

నిశ్చలంగా లేదు. అధిక పీడనాల వద్ద PV విలువలో అనుకోని మార్పులు కనిపించాయి. 1000 వాతావరణాల పీడనం (P) వద్ద PV విలువ, 1 వాతావరణ పీడనం వద్ద PV విలువకి రెండు రెట్లు ఉండడం కనిపించింది. మరీ అంత విపరీతమైన పీడనం వద్ద కాకుండా, మధ్యంతర పీడనాల వద్ద కూడా PV విలువలో 5% వరకు తేడా కనిపించింది. అంతేకాక వాయువుకి వాయువుకి మధ్య కూడా ఫలితాలలో వ్యత్యాసం కనిపించింది.

100 వాతావరణాల పీడనం వద్ద హైడ్రోజన్, నైట్రోజన్, ఆక్సిజన్ వాయువులు పెద్దగా దోషాన్ని చూపించలేదు. కానీ కార్బన్ డైఆక్సైడ్ ప్రవర్తనలో చాలా దోషం కనిపించింది.

మరి బాయిల్ నియమాన్ని వాయుచలన సిద్ధాంతం నుంచే వ్యుత్పన్నం చేశాం కదా? మరి వాయుచలన సిద్ధాంతంలోనే దోషం ఉందా? లేదు. వాయు చలన సిద్ధాంతం నుంచి బాయిల్ నియమాన్ని వ్యుత్పత్తి చేస్తున్నప్పుడు, గణితం సరళంగా ఉండాలని కొన్ని నమ్మకాలని మనం ప్రవేశపెట్టాం. వాస్తవ వాయువుల విషయంలో ఆ నమ్మకాలు నిజం కావని తరవాత తెలిసింది. ఉదాహరణకు వాయువులో రేణువుల మధ్య ఏ విధమైన ఆకర్షణ శక్తి ఉండదని అనుకున్నాం. కాని అది పూర్తిగా నిజం కాదు. వాయువులోని అణువుల మధ్య బలహీనమైన ఆకర్షణ శక్తి ఉంటుంది.

అలాంటిదే మరో తప్పుడు నమ్మకం కూడా ఉంది. వాయువులో అణువుల చుట్టూ ఉండే ప్రదేశం ఆయతనంతో పోలిస్తే అణువుల ఆయతనం చాలా చిన్నదని ముందు అనుకున్నారు. ఇది కూడా పూర్తిగా నిజం కాదు. ముఖ్యంగా అధిక పీడనాల వద్ద ఈ వ్యత్యాసం ప్రస్ఫుటంగా కనిపిస్తుంది.

కాబట్టి పైన చెప్పుకున్న నమ్మకాలని ఇప్పుడు సరిదిద్దుకుంటూ సిద్ధాంతాన్ని మారుద్దాం. అణువుల మధ్య ఆకర్షణ బలం ఉంటుందని గుర్తిస్తున్నాం కాబట్టి, గోడని ఢీకొనడానికి పోతున్న అణువుని, మిగతా అణువులు కొద్దిగా వెనక్కు లాగుతాయి. ఆ కారణం వల్ల పూర్తి బలంతో అణవు గోడని ఢీకొనదు. అణువుల మధ్య ఆకర్షణ ఉన్నప్పుడు గోడ మీద పని చేసే పీడనం P_v అనుకుంటే, ఆకర్షణ లేనప్పుడు గోడ మీద పీడనం P_i అనుకుంటే, ఈ

రెండిటి మధ్య తేడా $P_x = P_i - P_v$ అనుకుందాం. అంటే వాస్తవ వాయువులోని పీడనం P_v కి P_x అనే అదనపు పీడనం కలిపితే ఆదర్శ వాయువులోని పీడనం P_i వస్తుంది అన్నమాట.

ఇప్పుడు మనం P_x విలువని అంచనా వెయ్యాల్సి ఉంది. తొట్టెలో ఒక గోడని ఢీకొనబోతున్న అణువుని పాత్రలో మిగతా అణువులు వెనక్కు లాగుతాయి. అంటే ఆ వెనక్కు లాగబడే బలం తొట్టెలో ఉండే అణువుల సంఖ్య మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. అంటే అది తొట్టెలో వాయువు సాంద్రత D, మీద ఆధారపడుతుంది. ఇప్పుడు మనం చెప్పుకున్నది గోడని ఢీకొంటున్న ఒక్క అణువు మీద మిగతా అణువులు ప్రయోగించే బలం సంగతి. మరి గోడని ఢీకొంటున్న అణువులు ఎన్నో ఉంటాయి. ఆ అణువుల సంఖ్య కూడా తొట్టెలో వాయువు సాంద్రత D మీద ఆధారపడుతుంది. కాబట్టి మొత్తం మీద P_x విలువ D^2 మీద ఆధారపడుతుంది. తొట్టెలో ఉన్న వాయువు ద్రవ్యరాశి విలువ స్థిరంగా ఉంటుంది కాబట్టి P_x విలువ తొట్టె ఆయతనం V వర్గానికి (అంటే V^2)కి విలోమానుపాతంగా మారుతుందని అనుకోవచ్చు. కాబట్టి 'a' అనే స్థిరాంకాన్ని ప్రవేశపెడుతూ, P_x విలువని ఇలా ఇవ్వొచ్చు:

$$P_x = a/V^2$$

కాబట్టి వాయువులోని అణువుల మధ్య ఆకర్షణ బలాలని పరిగణనలోకి తీసుకుని పీడనం P విలువని సవరిస్తూ, కొత్త Pని ఇలా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు.

$$P + P_x = P + a/V^2$$

మరిప్పుడు ఆయతనం V సంగతి ఏమిటి? దాన్ని కూడా సవరించవలసిన అవసరం ఉందా? బాయిల్ నియమం ప్రకారం పీడనం పెరుగుతుంటే, ఆయతనం తగ్గుతూ వస్తుంది. అంటే V ఆయతనం ఉన్న వాయువు, ఇంకా సంకోచించడానికి ఆయతనం V మిగిలి ఉందన్నమాట. అంటే వాయువు బాగా సంకోచించి చివరికి 0 ఆయతనం వరకు సంకోచించగలదని నమ్మకం. కాని ఆ నమ్మకం నిజం కాదు. ఎందుకంటే వాయువులోని రేణువులకీ కొంచెం ఆయతనం ఉంటుంది. వాయువు సంకోచిస్తున్నప్పుడు ఒక దశలో అణువులు ఒకదానికొకటి రాసుకుంటున్నంత దగ్గరకి వస్తాయి. ఆ దశ తరవాత ఆయతనం

ఇక తగ్గే అవకాశం ఉండదు. అణువులు ఒకదాన్నొకటి తాకినంతవరకు వచ్చిన దశలో ఆయతనం విలువ 'b' అనుకుంటే, ఆయతనాన్ని కూడా సవరించి కొత్త విలువని ఇలా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు:

$V - b$

పీడనం, ఆయతనాల ఈ కొత్త విలువలని తిరిగి బాయిల్ సమీకరణంలో ప్రతిక్షేపిస్తే వాస్తవ వాయువుల ప్రవర్తనని వర్ణించగల ఒక కొత్త సమీకరణం వస్తుంది:

$$(P + a/V^2)\ (V-b) = RT$$

దీన్నే వాన్ డెర్ వాల్స్ సమీకరణం అంటారు. ఎందుకంటే దీన్ని మొట్టమొదట కనుక్కున్నవాడు యోహానెస్ డిడెరిక్ వాన్ డెర్ వాల్స్ అనే డచ్ శాస్త్రవేత్త (1837–1923). ఈ సమీకరణని అతడు 1873లో కనుక్కున్నాడు. ఈ సమీకరణానికి ఆధారమైన అణువుల మధ్య ఆకర్షణా బలాలని వాన్ డెర్ వాల్స్ బలాలు అంటారు. వాన్ డెర్ వాల్ సమీకరణంలో వాడే a, b విలువలు సామాన్యంగా చాలా చిన్నవి. వాటి విలువలు వాయువు నుండి వాయువుకి మారతాయి. ఆ వాయువులో అణువులు ఆక్రమించే ఆయతనాన్ని బట్టి, వాటి మధ్య ఉండే ఆకర్షణా బలాలని బట్టి ఆ విలువలు మారతాయి.

సాధారణ పరిస్థితిలో వాయువులోని అణువుల మధ్య ఆకర్షణ బలహీనంగానే ఉన్నా, కొన్ని ప్రత్యేక పరిస్థితుల్లో ఆ ఆకర్షణ ఫలితంగా వాయువు లక్షణాలలో సమూలమైన మార్పులు రావచ్చు. అణువుల మధ్య దూరం తగ్గుతున్న కొద్దీ ఆ ఆకర్షణ పెరుగుతుంది. వాయు పీడనం పెంచుతుంటే ఆయతనం తగ్గుతుంటుంది. అందువల్ల వాయువులోని అణువుల

వాన్ డెర్ వాల్స్

మధ్య దూరం తగ్గుతుంటుంది. అంటే ఆకర్షణ పెరుగుతుంటుంది. ఈ పరిణామం కొనసాగుతుంటే, ఒక దశలో ఆ అణువుల మధ్య ఆకర్షణ శక్తి అణువుల మధ్య గతిశక్తిని అధిగమిస్తుంది. దాంతో అణువులు ఒకదాన్నొకటి అతుక్కోవడం మొదలుపెడతాయి. అప్పుడు వాయువు ద్రవంగా మారిపోతుంది. సల్ఫర్ డైఆక్సైడ్, అమోనియా, క్లోరిన్, కార్బన్ డైఆక్సైడ్ మొదలైన వాయువులు అలాగే అధిక పీడనం వద్ద గది ఉష్ణోగ్రత (room temperature) వద్దనే ద్రవంగా మారతాయి. (అణవుల మధ్య ఆకర్షణే గనక లేకపోతే ఎట్టి పరిస్థితుల్లోను ద్రవంగా మారటం ఉండదు. అప్పుడు ఇక సృష్టిలో ద్రవం అనేదే ఉండదు!)

అణువుల మధ్య ఆకర్షణా బలం మరీ బలహీనంగా ఉంటే, అధికపీడనం వద్ద అణువుల మధ్య దూరాన్ని బాగా తగ్గించినా కూడా అణువులు ఒకదాన్నొకటి అతుక్కోకపోవచ్చు. వాటి మధ్య ఆకర్షణా బలం, వాటి గతిశక్తిని అధిగమించలేకపోవచ్చు. ఆ కారణం వల్లనే ఆక్సిజన్, నైట్రోజన్, హైడ్రోజన్, హీలియం, నియాన్, కార్బన్‌మోనాక్సైడ్ మొదలైన వాయువులు గది ఉష్ణోగ్రత వద్ద పీడనాన్ని ఎంతగా పెంచినా ద్రవంగా మారవు. పందొమ్మిదవ శతాబ్దంలో ఇలాంటి వాయువులని “శాశ్వత వాయువులు” అనేవారు.

వాయువులు తేలికగా ద్రవంగా మారాలంటే మరొకటి కూడా చెయ్యొచ్చు. అణువుల మధ్య ఆకర్షణా బలాన్ని ఒక పక్క పెంచి, మరో పక్క అణువుల గతిశక్తిని తగ్గించొచ్చు. పీడనం పెంచితే అణువుల మధ్య దూరం తగ్గి ఆకర్షణా బలం పెరుగుతుంది. ఉష్ణోగ్రత తగ్గిస్తే అణువుల గతిశక్తి తగ్గుతుంది. అప్పుడు ఆకర్షణ శక్తి గతిశక్తిని అధిగమించి, అణువులు దగ్గరపడి వాయువు ద్రవం అవుతుంది. ఆ విధంగా వాయువు ద్రవం అయ్యే ఉష్ణోగ్రతనే కీలక ఉష్ణోగ్రత (critical temperature) అంటారు. ఉష్ణోగ్రత ఈ కీలక ఉష్ణోగ్రత కన్నా ఎక్కువ అయితే పదార్థం వాయు రూపంలోనే ఉంటుంది. ఇలాంటి కీలక ఉష్ణోగ్రత అనేది ఒకటి ఉంటుందని మొట్టమొదట కనుక్కున్నవాడు థామస్ ఆండ్రూస్ (1813–1885). అతడు ఆ ఆవిష్కరణని 1869లో చేశాడు.

ఆక్సిజన్ కీలక ఉష్ణోగ్రత 154 ^{0}K (–119 ^{0}C). ఉష్ణోగ్రత అంతకన్నా తగ్గితే గాని ఆక్సిజన్ ద్రవం కాదు. అంతకన్నా బలహీనమైన అణ్వాంతరబలాలు

గల హైడ్రోజన్ వాయువు కీలక ఉష్ణోగ్రత 33 ^{0}K (–240 ^{0}C). ఈ రెండిటినీ మించిపోయింది హీలియం వాయువు. అది ఆదర్శ వాయులక్షణాలని సమీపిస్తుంది. దీని కీలక ఉష్ణోగ్రత 5 ^{0}K (–268 ^{0}C).

వీటికి భిన్నంగా కొన్ని పదార్థాలలో అణ్వంతరబలాలు ఎంత ఎక్కువగా ఉంటాయంటే, అవి గది ఉష్ణోగ్రత వద్ద, వాతావరణ పీడనం వద్ద కూడా ద్రవరూపంలో ఉంటాయి. (అయితే అలాంటి పదార్థాలలో అణ్వంతరబలాలు కేవలం వాన్ డెర్ వాల్స్ బలాలు కావు.) సాధారణ ఉష్ణోగ్రత, పీడనాల వద్ద ద్రవ రూపంలో ఉండే పదార్థాలకి ఒక చక్కని ఉదాహరణ నీరు. ఉష్ణోగ్రత 100 ^{0}C (373 ^{0}K) కి పెరిగినప్పుడు, అణువుల గతిశక్తి అణ్వంతర శక్తులని అధిగమిస్తుంది. అప్పుడు ద్రవరూపంలో ఉన్న నీరు ఆవిరి అవుతుంది 100 ^{0}C (373 ^{0}C) ని మించిన ఉష్ణోగ్రతల వద్ద కూడా పీడనాన్ని ఇంకా పెంచి నీరు ఆవిరి కాకుండా చెయ్యొచ్చు. పీడనం పెరుగుతుంటే నీరు మరిగే ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది. ఈ గుణాన్నే ప్రెషర్ కుక్కర్‌లో వాడుకుంటున్నాం. నీటి కీలక ఉష్ణోగ్రత 647 ^{0}K (374 ^{0}C). ఉష్ణోగ్రత అంతకన్నా పెరిగితే పీడనం ఎంత ఉన్నా నీరు ద్రవరూపంలో ఉండలేదు.

అసలు ద్రవాలలో కూడా అణ్వంతరబలాలు అణువులని ఒకదానితో ఒకటి కట్టిపడేసేటంత అధికంగా ఉండవు. అందుకే ద్రవాలలో అణువులు ఒక దాని మీద ఒకటి జారతాయి. అందుకే ద్రవాలు ప్రవహిస్తాయి. ఉష్ణోగ్రతని ఇంకా తగ్గిస్తే అణువులకి కదలడానికి ఆ కాస్త స్వేచ్ఛ కూడా ఉండదు. అణ్వంతరబలాలు బాగా ప్రబలి, అణువులు ఒకేచోట స్థిరంగా నిలిచిపోతాయి ఉన్నచోటే ఉండి కంపిస్తుంటాయి. పదార్థం ఆ దశలో ఉన్నప్పుడే దాన్ని ఘనపదార్థం అంటాం. మళ్ళీ ఉష్ణోగ్రతని పెంచితే ఒక దశలో అణువులు కదలడం మొదలుపెడతాయి. అప్పుడు ఘనపదార్థం ద్రవంగా మారింది అంటాం.

ఉదాహరణకి హైడ్రోజన్ వాయువులో అణ్వంతరబలాలు ఎంతో బలహీనంగా ఉండి, 14 ^{0}K (–259 ^{0}C) వద్దనే ఘన హైడ్రోజన్ ద్రవంగా మారుతుంది. ఉష్ణోగ్రత మరి కాస్త పెరిగితే 20 ^{0}K (–253 ^{0}C) వద్ద ద్రవ హైడ్రోజన్ వాయువుగా మారుతుంది. ఈ విషయంలో హీలియం వైనం ఇంకా

మిన్నగా ఉంటుంది. హీలియం వాయువులో కేవలం హీలియం పరమాణువులే ఉంటాయి. వాటి మధ్య పరమాణ్వంతరబలాలు ఎంత బలహీనంగా ఉంటాయంటే, నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉండే కనీస గతిశక్తికి కూడా హీలియం ఘనీభవించక ద్రవరూపంలో ఉండిపోతుంది. ఘన హీలియం అసలు ఏ ఉష్ణోగ్రత వద్దనైనా, ఎంత అధిక పీడనం వద్దనైనా కూడా ఉండదు. ఒక వాతావరణ పీడనం వద్ద, 4 ^{0}K (–269 ^{0}C) వద్ద కూడా ద్రవ హీలియం మరిగి వాయువు అవుతుంది.

ఇందుకు భిన్నంగా కొన్ని పదార్థాలలో అణ్వంతరబలాలు చాలా ఎక్కువగా ఉండి, సాధారణ ఉష్ణోగ్రత వద్దనే కాక ఇంకా ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద కూడా ఘనరూపంలో ఉంటాయి. ఉదాహరణకి లోహపు టంగ్‌స్టన్ 3370 ^{0}C వద్దనే కరుగుతుంది. ఉష్ణోగ్రత 5900 ^{0}C చేరితే గాని మరగదు.

విశిష్టోష్ణం (Specific Heat)

ఇంతవరకు ఉష్ణం గురించి, ఉష్ణోగ్రత గురించి ఎన్నో విషయాలు చెప్పుకున్నాం. ఉష్ణం, ఉష్ణోగ్రత అన్న భావనలలో ఎంత పోలిక కనిపిస్తున్నా, రెండూ ఒకటి కాదని మాత్రం గుర్తు పెట్టుకోవాలి. ఒక పాత్రలో నీటి ఉష్ణోగ్రత మరో పాత్రలో నీటి ఉష్ణోగ్రత కన్నా ఎక్కువైనంత మాత్రాన అందులో ఉష్ణం కూడా ఎక్కువని లెక్క ఏమీ లేదు. అదేంటో చూద్దాం.

ఒక చిన్న గ్లాసులో నీరు 90 ^{0}C వద్ద, ఒక పెద్ద తొట్టెలో నీరు 50 ^{0}C వద్ద ఉన్నాయనుకుందాం. తొట్టెలో నీటి ఉష్ణోగ్రత తక్కువైనా అందులో ఉష్ణం ఎక్కువ. రెండిటినీ మూత తెరిచి గది ఉష్ణోగ్రత వద్ద చల్లారనిస్తే కప్పులో నీరు ఇట్టే చల్లారిపోతుంది. ఆ సమయంలో తొట్టెలో నీరు పెద్దగా చల్లారకపోవచ్చు. కప్పు నీటిలో ఉండే ఉష్ణోగ్రత మోతాదు తక్కువ కాబట్టి అది ఆ వేడిని వేగంగా కోల్పోతుంది.

ఉష్ణం అంటే ఒక వ్యవస్థలో ఉండే అణువుల అంతశ్శక్తి మొత్తం, ఉష్ణోగ్రత ఉంటే ఆ వ్యవస్థలో అణువుల సగటి గతిశక్తి మారురూపం.

మరో మాటలో చెప్పాలంటే ఉష్ణం అనేది వ్యవస్థలో అణువుల సమిష్టికి లేదా మొత్తానికి సంబంధించినది, ఉష్ణోగ్రత అణువుల సగటు లక్షణం.

ఒక చిన్న సారూప్యంతో ఈ తేడాని మరింత స్పష్టం చెయ్యొచ్చు. ఒక లీటరు నీటిని ఒక సన్నని పొడవాటి నాళంలో పోయగా నీటి మట్టం 1 m ఎత్తుకి వచ్చిందని అనుకుందాం. మరో వెడల్పయిన తొట్టెలో 5 lit నీరు పోయగా నీటి మట్టం 0.1 mకి మాత్రమే వచ్చిందని అనుకుందాం. నీటి మట్టం ఎక్కువ ఉన్న నాళంలో అడుగున నీటి పీడనం నీటి మట్టం తక్కువ ఉన్న తొట్టెలో కన్నా పది రెట్లు ఎక్కువ ఉంటుంది. కాని తొట్టెలో నీరు నాళంలో నీటి కన్నా 5 రెట్లు ఎక్కువ. ఇక్కడ నీటి ఆయతనం అనే లక్షణం నీటి మొత్తానికి సంబంధించినది. కాని నీటి పీడనం యూనిట్ వైశాల్యానికి సంబంధించినది. ఈ సారూప్యంలో ఆయతనం ఉష్ణంలాంటిది, పీడనం ఉష్ణోగ్రతలాంటిది.

ఆయతనం → ఉష్ణం
పీడనం → ఉష్ణోగ్రత

ఇప్పటికి ఉష్ణోగ్రతకి, ఉష్ణానికి మధ్య తేడా గురించి కొంత అవగాహన వచ్చింది. ఉష్ణోగ్రతకి కొలమానం గురించి ముందు చెప్పుకున్నాం. అలాగే ఉష్ణానికి కొలమానం గురించి కూడా ఇప్పుడు చెప్పుకుందాం.

కొంత నీటిని వేడి చేసి దాని ఉష్ణోగ్రతని పెంచుతాం అనుకుందాం. నీటి ఉష్ణోగ్రతలో ఫలానా డిగ్రీల పెంపుని సాధించడానికి పట్టే ఉష్ణం విలువ ఆ నీటిపరిమాణం మీద ఆధారపడుతుంది. నీటి పరిమాణం ఎక్కువైతే ఉష్ణోగ్రతని పెంచడానికి పట్టే ఉష్ణం విలువ కూడా ఎక్కువ అవుతుంది.

ఉదాహరణకి 100 గ్రాముల సలసల కాగే నీటిని, 5 కిలోల చన్నీటిలో కలిపితే ఉష్ణోగ్రత 1 ^{0}C మాత్రమే పెరిగింది అనుకుందాం. అప్పుడు 100 గ్రాముల సలసల కాగే నీటిలో ఒక ప్రత్యేక పరిమాణంలో ఉష్ణం ఉందని అనుకోవచ్చు.

కాబట్టి ఒక యూనిట్ ద్రవ్యరాశి గల నీటి ఉష్ణోగ్రతని ఒక యూనిట్ ఉష్ణోగ్రతకి పెంచడానికి పట్టే ఉష్ణాన్ని, ఒక ఉష్ణమాపకంగా వాడుకోవచ్చు.

ఒక గ్రాము నీటిని 14.5 ^{0}C నుండి 15.5 ^{0}Cకి పెంచడానికి పట్టే ఉష్ణాన్ని 1 కాలరీ అంటారు. అలాగే 1 కిలో నీటిని 14.5 ^{0}C నుండి 15.5^{0}Cకి

పెంచడానికి పట్టే ఉష్ణాన్ని 1 కిలో కాలరీ (= వెయ్యి కాలరీలు) అంటారు.

ప్రయోగం: ఒక గ్రాము అల్యూమినంని మరుగుతున్న నీటిలో తగినంత సేపు ఉంచితే, అల్యూమినం ఉష్ణోగ్రత మరిగే నీటి ఉష్ణోగ్రత (100 ^{0}C) వద్దకు చేరుతుంది. ఇప్పుడా అల్యూమినం ముక్కని బయటకి తీసి వేగంగా 0 ^{0}C వద్ద నున్న 100 గ్రాముల నీటిలో ముంచితే, ఆ నీటి ఉష్ణోగ్రత 0.22 ^{0}Cకి పెరుగుతుంది.

ఇందాక మనం చెప్పుకున్న ప్రయోగంలో 100 గ్రాముల ఉష్ణోగ్రతని 0 ^{0}C నుంచి 0.22 ^{0}Cకి పెంచడానికి పట్టే ఉష్ణోగ్రత = 100 X 0.22 = 22 కాలరీలు. శక్తి నిత్యత్వ నియమాన్ని బట్టి 100 ^{0}C నుంచి 0.22 ^{0}Cకి చల్లారిన 1 గ్రాము అల్యూమినం ముక్క 22 కాలరీల ఉష్ణం విడుదల చేసింది అని అర్థం చేసుకోవచ్చు. ఆ ఉష్ణాన్ని తిరిగి అదే ముక్కలోకి ప్రవేశపెడితే దాని ఉష్ణోగ్రత తిరిగి 100 ^{0}Cకి చేరుకుంటుంది. అంటే ఒక గ్రాము అల్యూమినం ఉష్ణోగ్రతని రమారమి 100 ^{0}C పెంచడానికి 22 కాలరీలు అవసరమైతే, 1 ^{0}C పెంచడానికి 0.22 కాలరీలు అవసరమవుతుంది.

పదార్థం ఈ లక్షణాన్నే విశిష్టోష్ణం అంటారు. ఇక్కడ అల్యూమినం విశిష్టోష్ణం 0.22 కాలరీలు అని తేలింది. ఇలాంటి ప్రయోగమే చేసి మరి కొన్ని పదార్థాల విశిష్టోష్ణాలు కనుక్కోవచ్చు. ఆ విలువలని ఈ కింది పట్టికలో చూడొచ్చు.

ఇనుము	0.11	కాలరీలు
రాగి	0.093	కాలరీలు
వెండి	0.056	కాలరీలు
సీసం	0.03	కాలరీలు

విశిష్టోష్ణం అన్న భావన సహాయంతో ఉష్ణోగ్రతకి, ఉష్ణానికి మధ్య తేడా స్పష్టంగా తెలుస్తోంది. ఒకే మొత్తంలో ఉష్ణాన్ని, ఒకే ద్రవ్యరాశి ఉన్న వివిధ పదార్థాలలోకి ప్రవేశపెట్టినప్పుడు వాటి ఉష్ణోగ్రతలో వచ్చే మార్పులు వేరు వేరుగా ఉంటాయి. ఈ విశిష్టోష్ణం అన్న భావనని మొట్టమొదట ప్రతిపాదించినవాడు స్కాట్లండ్‌కి చెందిన రసాయన శాస్త్రవేత్త జోసెఫ్ బ్లాక్

(1728–1799).

పదార్థాల విశిష్టోష్ణాలలో ఈ వైవిధ్యానికి కారణాలలో ఒకటి ఆ పదార్థాలలోని అణువుల భారంలోని వైవిధ్యమే.

అల్యూమినం అణువు కన్నా సీసం అణువు 7.7 రెట్లు భారమైనది.

అల్యూమినం అణువు కన్నా అణువు 4 రెట్లు భారమైనది.

అల్యూమినం అణువు కన్నా రాగి అణువు 2.3 రెట్లు భారమైనది.

అల్యూమినం అణువు కన్నా ఇనుము అణువు 2.1 రెట్లు భారమైనది.

ఈ కారణం వల్ల 1 గ్రాము సీసంలో ఉండే అణువుల సంఖ్య, 1 గ్రాము అల్యూమినంలో ఉండే అణువుల సంఖ్యలో 1/7.7 వంతు మాత్రమే ఉంటుంది. 1 గ్రాము అల్యూమినంలో ఉష్ణోగ్రతని 1 ^{0}Cకి పెంచడానికి పట్టే ఉష్ణం విలువ, మరిన్ని తక్కువ అణువులు గల 1 గ్రాము సీసంలో ఉష్ణోగ్రతని 1 ^{0}Cకి పెంచడానికి పట్టే ఉష్ణం విలువ కన్నా చాలా తక్కువ. అందుకే సీసం విశిష్టోష్ణం (0.03) అల్యూమినం విశిష్టోష్ణంలో సుమారు 1/4 వంతు ఉంటుంది. అలాగే రాగి విశిష్టోష్ణం అల్యూమినం విశిష్టోష్ణంలో సుమారు 1/2.3 వంతు ఉంటుంది. ఇనుము విశిష్టోష్ణం అల్యూమినం విశిష్టోష్ణంలో సుమారు 1/2.1 వంతు ఉంటుంది.

చాలా మటుకు మూలకాల విషయంలో వాటి విశిష్టోష్ణాన్ని వాటి సాపేక్ష ద్రవ్యరాశితో (relative mass) గుణిస్తే ఇంచుమించు ఒకే సంఖ్య వస్తుంది. చాలా మూలకాలలో,

విశిష్టోష్ణం X అణుభారం = 6 కాలరీలు ఉంటుంది.

ఈ నియమాన్ని డ్యులాంగ్–పెతీ నియమం అంటారు. ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్తలైన పియర్ లూయీ డ్యులాంగ్ (1785–1838), అలెక్సిస్ థెరేస్ పెతీ (1796–1820)లు ఈ నియమాన్ని 1819లో కనుక్కున్నారు.

గుప్తోష్ణం

గ్రాముల లెక్కలో కాకుండా అణువుల, పరమాణువుల లెక్కలో కొలిస్తే ఉష్ణానికి, ఉష్ణోగ్రతకి పెద్దగా తేడా లేనట్టు అనిపిస్తుంది. డ్యులాంగ్–పెతీ నియమం అన్ని పదార్థాలకి అన్ని పరిస్థితుల్లోను వర్తిస్తే సమస్య ఉండదు కాని

అలా జరగదు. ఆ నియమం కేవలం ఘనపదార్థాలకి, అదీ కొన్ని ఉష్ణోగ్రతల వద్ద మాత్రమే వర్తిస్తుంది. అంతేకాక ఒక వస్తువులో ఉష్ణోగ్రత మారకున్నా అందులోని ఉష్ణం మోతాదు మారగలదు అని కూడా నిరూపించొచ్చు. ఆ కారణం చేత ఉష్ణానికి కొలమానంగా ఉష్ణోగ్రతని వాడలేమని వెంటనే అర్థం అవుతుంది.

0 ^{0}C వద్ద ద్రవరూపంలో ఉన్న 100 గ్రాముల నీటిని, 100 ^{0}C వద్ద ద్రవరూపంలో ఉన్న 100 గ్రాముల నీటిలో కలిపి, ఆ మిశ్రమాన్ని బాగా కలియబెడితే, దాని ఉష్ణోగ్రత 50 ^{0}C అవుతుంది.

ఇప్పుడు 0 ^{0}C వద్ద మంచు గడ్డ రూపంలో ఉన్న 100 గ్రాముల నీటిని, 100 ^{0}C వద్ద ద్రవరూపంలో ఉన్న 100 గ్రాముల నీటిలో కలపాలి. వేణ్ణీళ్ళలో ఐసు పూర్తిగా కరిగిపోయాక, నీటి ఉష్ణోగ్రత 10 ^{0}C మాత్రమే ఉంటుంది.

ఇలా ఎందుకు జరుగుతోంది? పై ప్రయోగాల బట్టి 0 ^{0}C వద్ద 100 గ్రాముల ద్రవపు నీటిలో, 0 ^{0}C వద్ద 100 గ్రాముల మంచు గడ్డ కన్నా ఎక్కువ శక్తి ఉన్నట్టు తెలుస్తోంది. ఈ రెండు ఉష్ణోగ్రతలు ఒక్కటే కదా? ఐసుగడ్డని వేణ్ణీళ్ళలో వేసినప్పుడు, ఐసుని కరిగించడానికి కొంత ఉష్ణం వినియోగించ బడుతుంది. కాబట్టి నీటిని వేడెక్కించడానికి మరింత తక్కువ ఉష్ణమే లక్ష్యం అవుతోంది.

అసలు మంచుగడ్డని నీటిలో కలిపి ఆ మిశ్రమాన్ని వేడి చేస్తే, ఆ మిశ్రమంలోకి ఎంత ఉష్ణాన్ని ప్రవేశపెట్టినా దాని ఉష్ణోగ్రత 0 ^{0}Cని మించదు. మంచు గడ్డ పూర్తిగా కరిగిన దాకా ఉష్ణోగ్రత 0 ^{0}C వద్ద ఉంటుంది.

మంచు గడ్డ పూర్తిగా కరగగానే ఉష్ణం నీటిలోని అణువుల గతిశక్తిగా మారడం మొదలుపెడుతుంది. అప్పటినుంచి నీటి ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది. 1 గ్రాము మంచు గడ్డని కరిగించడానికి 80 కాలరీల ఉష్ణం అవసరమవుతుంది అన్నది ప్రయోగం ద్వారా తెలుసుకోవచ్చు. ఈ మార్పులో ఉష్ణోగ్రత మారదు. 0 ^{0}C వద్ద ఉన్న మంచుగడ్డ, 0 ^{0}C వద్ద ఉన్న నీరుగా మారుతుంది.

ఉష్ణాన్ని లోనికి తీసుకుంటున్న మంచు గడ్డలో అణువుల గతిశక్తి పెరగకుంటే మరి ఉష్ణశక్తి అంతా ఏమవుతున్నట్టు? శక్తి నిత్యత్వ నియమం

నిజం కాబట్టి ఈ శక్తి ఊరికే ఎక్కడో మాయం అయిపోలేదు!

మంచుగడ్డలోని అణువుల మధ్య బలమైన ఆకర్షణ శక్తి పని చేస్తూ, వాటిని ఒకదాంతో ఒకటి కట్టిపడేస్తుంది. ఈ లక్షణమే దాని ఘనత్వానికి కారణం అవుతుంది. మంచుని నీటిగా మార్చాలంటే ముందు ఆ బంధాలని తెంచాలి. మంచుని కరిగిస్తోన్న ఉష్ణం, మంచులోని ఈ బంధాలని తెంచడానికి ఉపయోగపడుతుంది. ఒకే ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న నీటి అణువులలో మంచు అణువులలో కన్నా ఎక్కువ ఉష్ణం ఉంటుంది. కాని అది అణువుల గతిశక్తి రూపంలో లేదు. అణువులని ఒకదానితో ఒకటి కట్టి పడేసే బంధాలని అధిగమించే శక్తి రూపంలో ఉంది.

శక్తి నిత్యత్వ నియమాన్ని బట్టి చూస్తే, ఘనీభవించడంలో ఎలాంటి శక్తి పరివర్తన జరుగుతుందో, కరగడంలో అందుకు వ్యతిరేకమైన శక్తి పరివర్తన జరుగుతుంది. 0 ^{0}C వద్ద ద్రవపు నీటి నుండి ఉష్ణం బయటికి వచ్చే ఏర్పాటు చేసినట్టయితే, అణువుల మధ్య ఆకర్షణాబలాన్ని అధిగమించే శక్తి పోయి, అణువులు క్రమంగా దగ్గరపడతాయి. దాంతో నీరు గడ్డ కట్టి మంచుగా మారుతుంది. ఆ విధంగా ఒక గ్రాము మంచు గడ్డ ఏర్పడడానికి 0 ^{0}C వద్ద నీటి నుండి 80 కాలరీల శక్తి విడుదల కావాలి.

తాత్పర్యం:

1 గ్రాము ఐసు 0 ^{0}C వద్ద 80 కాలరీల శక్తిని తీసుకుని 0 ^{0}C వద్ద నీరుగా మారుతుంది.

1 గ్రాము నీరు 0 ^{0}C వద్ద 80 కాలరీల శక్తిని విడుదల చేసి 0 ^{0}C వద్ద మంచుగడ్డగా మారుతుంది.

కరుగుతున్న మంచుగడ్డలోకి పోతున్న ఉష్ణశక్తి ఒక విధంగా అందులోని అణువుల స్థితిశక్తి (potential Energy) గా మారుతుంది. ఎలాగైతే కొండమీదున్న రాయికి నేల మీద ఉన్న రాయి కన్నా ఎక్కువ స్థితి శక్తి ఉంటుందో, ఘనపదార్థంలో ఒకదాన్నొకటి అంటిపెట్టుకుని ఉండే అణువుల కన్నా, ద్రవంలో స్వేచ్ఛగా సంచరిస్తున్న అణువుల స్థితిశక్తి ఎక్కువ.

పదార్థంలోని స్థితిశక్తిని, గతిశక్తిని కలిపితే అదే ఆ పదార్థంలోని మొత్తం

అంతశ్శక్తి (Internal energy). అదే అందులోని ఉష్ణశక్తి కూడా. ఉష్ణోగ్రత ద్వారా కొలిచేది కేవలం గతిశక్తి మాత్రమే. పదార్థం ఘనీభవిస్తున్నప్పుడు గాని, కరుగుతున్నప్పుడు గాని స్థితి శక్తి మారుతుంది కాబట్టి, పదార్థంలోని ఉష్ణం మారుతుంది గాని ఉష్ణోగ్రత మారదు.

కరుగుతున్న మంచుగడ్డ ఉష్ణోగ్రత పెరగకుండా కరుగుతుంది అని మొట్టమొదట గమనించినవాడు జోసెఫ్ బ్లాక్. విశిష్టోష్ణం ప్రాముఖ్యతని మొదట గుర్తించినవాడు ఇతడే. పదార్థం కరుగుతున్నప్పుడు ఖర్చయ్యే ఉష్ణానికి గుప్తోష్ణం (latent heat) అని పేరు పెట్టింది కూడా ఇతడే. బయటికి ఏమీ తెలియకుండా (ఉష్ణోగ్రత కూడా మారకుండా) లోలోపల గుట్టుగా మారుతుంది కాబట్టి దీన్ని "గుప్త" (రహస్య) ఉష్ణం అన్నాడు. ఈ గుప్తోష్ణానికి అణువుల మధ్య స్థితి శక్తి మధ్య సంబంధం ఉందని గుర్తుంచుకోవాలి.

ఒక గ్రాము ఐసు కరగడానికి ఖర్చయ్యే ఉష్ణాన్ని latent heat of fusion (సంయోగ గుప్తోష్ణం) అంటారు. ఇక్కడ 'సంయోగ' అన్న పదాన్ని వాడడంలోని ఉద్దేశం, ఇది ఒక ప్రత్యేకమైన గుప్తోష్ణం అని తెలియచెప్పడమే. ద్రవం మరిగి ఆవిరి అవుతున్నప్పుడు మరో రకం గుప్తోష్ణం వర్తిస్తుంది. దానికి వేరే పేరు, ఆ విషయానికి తరవాత వద్దాం.

100 ^{0}C వద్ద ఒక గ్రాము నీటిని 100 ^{0}C వద్ద ఒక గ్రాము ఆవిరిగా మార్చాలంటే అణ్వంతర ఆకర్షణలన్నిటినీ పూర్తిగా అధిగమించాలి. అప్పుడే అణువులు, వాయువులలో జరిగినట్టు, పూర్తిగా, స్వేచ్ఛగా సంచరించ గలుగుతాయి. ఘనపదార్థం కరిగినప్పుడు, అణ్వంతర ఆకర్షణ బలంలో కొంత భాగాన్ని మాత్రమే అధిగమించబడుతుంది. ఆ కారణం వల్లనే latent heat of vaporisation (బాష్పీభవన గుప్తోష్ణం) విలువ సంయోగ గుప్తోష్ణం (latent heat of fusion) కన్నా చాలా ఎక్కువ.

ఉదాహరణకి 100 ^{0}C వద్ద ఒక గ్రాము నీటిని 100 ^{0}C వద్ద ఒక గ్రాము ఆవిరిగా మార్చడానికి పట్టే ఉష్ణం విలువ 539 కాలరీలు. ఇదే నీటి బాష్పీభవన గుప్తోష్ణం (నీటి సంయోగ గుప్తోష్ణం (80 కాలరీలు) కన్నా ఇది రమారమి 7 రెట్లు పెద్దది.).

నీటి ఆవిరిలో ఉష్ణాన్ని నమ్మలేనంతగా పెంచడానికి వీలవుతుంది. 100 ^{0}C వద్ద ఉన్న 100 గ్రాముల నీరు 0 ^{0}Cకి చల్లారితే 10,000 కాలరీల ఉష్ణం వెలువడుతుంది. కాని 100 ^{0}C వద్ద ఉన్న 100 గ్రాముల ఆవిరి నీరు అయితే 53,000 కాలరీల ఉష్ణం విడుదల అవుతుంది. ఆ నీటిని 0 ^{0}Cకి చల్లారిస్తే మరో 10,000 కాలరీలు విడుదల అవుతాయి. కాబట్టే ఆవిరి యంత్రానికి అన్ని ప్రయోజనాలు ఉన్నాయి. అందులో ఆవిరికి బదులుగా వేణ్ణీళ్ళు వాడితే సరిపోదు.

బాష్పీభవన గుప్తోష్ణానికి ఒక చక్కని ప్రయోజనం ఉంది. ఒక మూసిన పాత్రలో అధిక పీడనం వద్ద అమోనియా వాయువుని ఉంచాం అనుకుందాం. పీడనాన్ని బాగా పెంచితే ఒక దశలో వాయువు ద్రవంగా మారుతుంది. అమోనియా ద్రవంగా మారుతూ కొంత ఉష్ణాన్ని విడుదల చేస్తుంది. ఆ ఉష్ణం వల్ల పరిసరాల ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది. కాని ఇప్పుడు ఆ అమోనియా పాత్రని ప్రవహిస్తున్న చన్నీటిలో పెడితే, ఆ నీటి ద్వారా ఉష్ణం అక్కడినుంచి దూరంగా తరలించబడుతుంది. అందువల్ల ద్రవరూపంలో ఉన్న అమోనియా ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది.

ఇప్పుడు అమోనియా పాత్రని నీటిలోంచి పైకి తీసి పీడనాన్ని తగ్గిస్తే ద్రవరూపంలోని అమోనియా మళ్ళీ ఆవిరయ్యే అవకాశం ఏర్పడుతుంది. అలా ఆవిరి కావడానికి అది పరిసరాల నుండి ఉష్ణాన్ని తీసుకుంటుంది. అణువుల గతిశక్తిలో కొంత భాగం వాటి స్థితి శక్తిగా మారుతుంది. దాంతో అమోనియా ఉష్ణోగ్రత అమాంతం పడిపోతుంది.

పైన మనం చేసినట్టు అమోనియాని మళ్ళీ మళ్ళీ సంపీడితం (compress) చేసి, ఆవిరి కానిచ్చే యంత్రం ఉంటే అదే ఉష్ణాన్ని పంప్ చేసే యంత్రం అవుతుంది. ఆ విధంగా మూసిన పాత్రలో ఉన్న ఉష్ణాన్ని అలాంటి పంప్‌ని ఉపయోగించి బయటికి తీసేయొచ్చు. అలా ఉష్ణాన్ని బయటికి తీసిన పాత్రలోకి మళ్ళీ బయటి ఉష్ణం పోకుండా ఆ పాత్ర చుట్టూ ఉష్ణ నిరోధక (insulating) గోడలు ఏర్పాటు చెయ్యాలి. అలాంటి యంత్రాన్నే మనం రెఫ్రిజిరేటర్ (refrigerator) అంటాం.

ద్రవం ఆవిరై ఉష్ణాన్ని తొలగిస్తుంది అన్న నియమమే మన శరీరాలని చల్లగా ఉంచుతుంది. మన చర్మంలో ఉండే చెమట గ్రంథుల నుండి వెలువడే చెమట మన శరీరం మీద సన్నని తేమ పొరలా ఏర్పడుతుంది. ఆ చెమట ఆవిరై శరీరంలోని వేడిని తొలగిస్తుంది. మన చుట్టూ కనిపించే ద్రవాలలో అత్యధిక బాష్పీభవన గుప్తోష్ణం గల ద్రవం నీరే కాబట్టి మన చెమటలో ఉండేది ఇంచుమించు శుద్ధమైన, పెద్దగా మిశ్రమాలు లేని, నీరేనంటే ఆశ్చర్యం లేదు. వాతావరణంలో వేడి ఎక్కువైనప్పుడు ఈ ప్రక్రియ మరింత వేగవంతం అవుతుంది. ఎక్కువ చెమట పట్టి ఎక్కువ వేడి బయటకు పోతూ ఉంటుంది. అలాగే వాతావరణంలో తేమ బాగా ఎక్కువగా ఉంటే చెమట తొందరగా ఆవిరి కాదు. అప్పుడు ఒంట్లో వేడి ఒంట్లోనే ఉండిపోయి చాలా అసౌకర్యంగా ఉంటుంది. మన శరీరంలోని ఈ చెమట యంత్రాంగం ఒక సహజ రెఫ్రిజిరేటర్ లాంటిది, అది చెడిపోతే నరకమే. అది సక్రమంగా పని చేస్తుంటే ప్రాణం హాయిగా ఉంటుంది. జీవితం సాఫీగా సాగిపోతూ ఉంటుంది. ◆

Back Cover

వేడిగా ఉన్న వస్తువుకి అధిక ఉష్ణోగ్రత ఉందంటాం. అందులో అధిక ఉష్ణం దాగి ఉందంటాం. పైపైన చూస్తే **ఉష్ణం, ఉష్ణోగ్రత** అనే రెండు పదాలూ ఒకే విషయాన్ని సూచిస్తున్నట్టు అనిపిస్తుంది. మరైతే రెండు పదాలు ఎందుకు? ఆ రెండు పదాలు వేరు వేరు భావనలని సూచిస్తే వాటి మధ్య తేడా ఏమిటి?

ఉష్ణం-ఉష్ణోగ్రత... వీటిని ఎలా కొలుస్తారు? ఆ కొలమానాలని ఎవరు కనిపెట్టారు? ఎలా కనిపెట్టారు? ఆ కొలమాన పద్ధతులు ఎలా మెరుగవుతూ వచ్చాయి? ఉష్ణోగ్రత పెరిగినప్పుడు వస్తువులు ఎందుకు వ్యాకోచిస్తాయి? ఎంత వ్యాకోచిస్తాయి? ఘన పదార్థాలు ఎలా వ్యాకోచిస్తాయి? వాయువులు ఎలా వ్యాకోచిస్తాయి? మళ్ళీ ఆ వ్యాకోచంలో ఆదర్శ వాయువులకి, వాస్తవ వాయువులకి మధ్య తేడా ఏమిటి? ఉష్ణం, ఉష్ణోగ్రతలకి వస్తువులోని అణువుల చలనాలకి మధ్య సంబంధం ఏమిటి? గుప్తోష్ణం అంటే ఏమిటి? విశిష్టోష్ణం అంటే ఏమిటి? ఈ ప్రశ్నలన్నిటికి ఈ పుస్తకంలో సమాధానాలు ఉన్నాయి.

ఉష్ణం-ఉష్ణోగ్రత... ఈ భావాలు మొట్టమొదటగా విద్యార్థులకి హైస్కూలు స్థాయిలో పరిచయం అవుతాయి. ఈ రెండు భావాల మధ్య తేడాని స్పష్టంగా అర్థం చేసుకోవడంలో ఎంతో మంది విద్యార్థులు ఇబ్బంది పడుతుంటారు. కఠినమైన శాస్త్రీయ పరిభాషని వాడకుండా, అతిగా గణిత సమీకరణాలని వాడకుండా, పొడి పొడి మాటలతో విషయాన్ని దాటేయకుండా, ప్రతి విషయాన్నీ స్పష్టంగా వివరిస్తూ, సరళమైన భాషలో ఉష్ణం, ఉష్ణోగ్రత అనే భావాలు అందరికీ అర్థమయ్యేలా చేస్తుందీ పుస్తకం.