జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావం

(Joule-Thomson Effect)

Learn more at: http://ccelms.ap.gov.in

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

అభ్యసన లక్ష్యాలు

1. జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావం
2. జౌల్-థామ్సన్ ప్రయోగం
3. జౌల్-థామ్సన్ గుణకం
4. విలోమ ఉష్ణోగ్రత

జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావం

"అధిక పీడనం ఉన్న ప్రాంతం నుండి చాలా తక్కువ పీడన ప్రాంతానికి ఒక వాయువు స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం చెందినప్పుడు జరిగే ఉష్ణోగ్రత మార్పు యొక్క సంఘటనను జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావం (Joule-Thomson Effect) అంటారు".

- జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావాన్ని వాయువుల స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం (adiabatic expansion) అని కూడా అంటారు.
- ఒక వాయువును ఎక్కువ పీడనమున్న ప్రాంతం నుంచి చాలా తక్కువ పీడనమున్న ప్రాంతానికి వ్యాకోచించేటట్లు చేస్తే వాయువు చల్లగా అవుతుందన్న విషయం జౌల్-థామ్సన్ లు కనుక్కున్నారు.
- వాయువును సుమారు 200 అట్మాస్ఫియర్ల పీడనాన్ని ఉపయోగించి సంపీడపరచి ఒక చిన్న రంధ్రం ద్వారా స్వల్పపీడనం ఉన్న ప్రాంతంలోకి ప్రసరించేట్లు చేస్తే వాయువు వ్యాకోచం చెందటం తోపాటు దాని ఉష్ణోగ్రత కూడా తగ్గుతుంది.
- చల్లగా అవ్వడానికి కారణం వాయువు కొంత శక్తిని పోగొట్టుకోవడమే.
- హెచ్చుపీడనంలో అణువులు దగ్గరగా ఉండడం వల్ల వాటి మధ్య ఆకర్షణ బలాలు ఉంటాయి.
- వాయువు వ్యాకోచం చెందినపుడు అణువుల మధ్య దూరం పెరగాలి. దానికి అణువుల మధ్య ఉన్న ఆకర్షణ బలాలను అతిక్రమించాలి.

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

- దీనికి కొంత పని జరగవలసి ఉంటుంది. ఈ పనికి కావాల్సిన శక్తి వాయువు గతిజశక్తి (Kinetic energy) నుంచే రావాలి.
- గతిజశక్తి ఉష్ణోగ్రతకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.
- కాబట్టి వాయువు గతిజశక్తి ని నష్టపోయినప్పుడు దాని ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది. దీన్ని జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావంఅంటారు.
- జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావంను ఆదర్శ వాయువులు ప్రదర్శించవు.
- తక్కువ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావం ఎక్కువ.
- ఈ ప్రక్రియలో వ్యవస్థ యొక్క ఎంథాల్పి స్థిరంగా ఉంటుంది.

ఈ ఫలితం లో ఉష్ణోగ్రత తగ్గుదలను కింది సమీకరణం తెలుపుతుంది

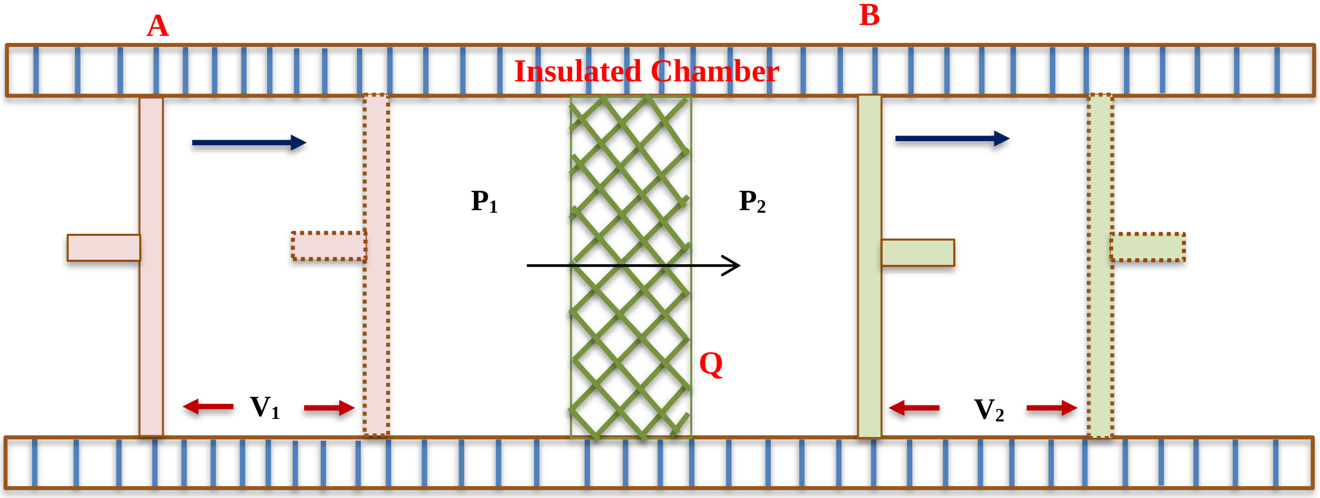
$$T_1 - T_2 = 0.276\left[\frac{273}{T_1}\right]^2 (P_1 - P_2)$$

P_1, T_1 లు ప్రారంభ పీడన ఉష్ణోగ్రతలు. P_2, T_2 లు వ్యాకోచం చెందిన తరువాత పీడన ఉష్ణోగ్రతలు. దీన్నిబట్టి పీడనాలలోని భేదం ఎంత ఎక్కువ ఉంటే ఉష్ణోగ్రతల్లో తగ్గుదల అంత ఎక్కువగా ఉంటుందని వెల్లడవుతుంది. అంతేగాక ఈ ప్రక్రియ ఎంత ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత (T_1) వద్ద జరిగితే అంతిమ ఉష్ణోగ్రత (T_2) అంత తక్కువగా ఉంటుంది.

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

జౌల్-థామ్సన్ ప్రయోగం (Joule-Thomson experiment)

❖ స్థిరోష్ణక స్థితిలో వాయువు వ్యాకోచం చెందినప్పుడు ఉష్ణోగ్రతలోని మార్పును కొలవడానికి జౌల్ మరియు థామ్సన్ ఉపయోగించిన పరికరం క్రింద చూపిన విధంగా చిత్రంలో క్రమపద్ధతిలో వివరించబడింది.



Joule-Thomson experiment (expansion of a real gas through a porous plug)

❖ ఒక నాళికలో సచిద్ర ప్లగ్ (porous plug) Q అమర్చి ఉంటుంది.

❖ నాళికను A, B అను రెండు భాగాలుగా ప్లగ్ విభజిస్తుంది.

❖ ఈ భాగాలలో వాయువు వేరు వేరు పీడనాల తో లోబడి ఉంటుంది. ప్లగ్ యొక్క ఎడమ వైపు పీడనం P_1 మరియు కుడి వైపు పీడనం P_2 గా ఉంటుంది. $P_1 > P_2$ అనుకుందాం.

❖ ఈ పరికరంలోని భాగాలన్నీ ఉష్ణ బంధక ద్రవ్యాలతో (insulated material) నిర్మితమై ఉంటాయి.

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

- ఈ కారణంగా ప్రక్రియలు స్థిరోష్ణక పద్ధతిలో జరుగుతాయి. ఉష్ణరాశి పరికరం లోకి వెళ్లదు. పరికరం నుంచి బహిర్గతం కాదు.
- పీడనం స్థిరంగా ఉండే విధంగా చేసి, V_1 ఘనపరిమాణం వాయువును సచిద్ర ప్లగ్ ద్వారా ఎక్కువ పీడనం (P_1) నుంచి తక్కువ పీడనం (P_2) ఉన్న భాగంలోకి పంపుతారు.
- ఈ ప్రక్రియను అతి నెమ్మదిగా జరిపిస్తారు.
- ఈ ప్రక్రియలో వాయువు పైన జరిపిన పని P_1V_1 అవుతుంది.
- తక్కువ పీడనం ఉన్న భాగంలోకి పంపిన వాయువు స్థిర పీడనానికి (P_2 కి) వ్యతిరేకంగా వ్యాకోచం చెందుతుంది.
- ఘనపరిమాణం V_1 నుంచి V_2 గా ఉంటుంది.
- ఈ ప్రక్రియలో వాయువు జరిపిన పని $-P_2V_2$ అవుతుంది.

ఈ మొత్తం ప్రక్రియలో వాయువు జరిపిన నికరమైన పని W.

$$W = P_2V_2 - P_1V_1 \quad \text{అవుతుంది}$$

ఈ ప్రక్రియలో $Q=0$ గా ఉంటుంది. కారణం ఉష్ణ బంధక ప్రక్రియ.

ప్రధమ నియమం ప్రకారం,

$$\Delta E = Q - W$$

$$\therefore \quad \Delta E = -W$$

$$\Delta E = -(P_2V_2 - P_1V_1)$$

$$\text{లేదా} \quad E_2 - E_1 = -(P_2V_2 - P_1V_1)$$

$$E_2 + P_2V_2 = E_1 + P_1V_1$$

$$H_2 = H_1$$

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

$$\Delta H = 0$$

ఈ ప్రక్రియలో ఎంథాల్పి స్థిరంగా ఉంటుంది. వాయువు పని జరిపింది కాబట్టి ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది. స్థిరోష్ణక పరిస్థితులలో వాయువు వ్యాకోచం చెంది చల్లబడటాన్ని జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావం అంటారు.

జౌల్-థామ్సన్ గుణకం (Joule Thomson Coefficient)

ఈ వ్యాకోచంలో వాయువు ఉష్ణోగ్రతల్లో తగ్గుదల, తొలి ఉష్ణోగ్రత మీద మరియు పీడనం మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.

$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$ ను జౌల్ -థామ్సన్ గుణకం అంటారు. దీన్ని μ_{JT} గా రాస్తారు.

ఈ ప్రక్రియలో $P_2 < P_1$ కాబట్టి ∂p విలువ ఋణాత్మకం గా ఉంటుంది. T ల తగ్గుదల కారణంగా ∂T విలువ కూడా ఋణాత్మకం గా ఉంటుంది.

కాబట్టి

$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$ విలువ ధనాత్మకం గా ఉంటుంది.

i. $\mathbf{\mu_{JT} > 0}$ అయితే వాయువు స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలో చల్లబడుతుంది.

ii. $\mathbf{\mu_{JT} < 0}$ అయితే వాయువు స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలో వెచ్చబడుతుంది.

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

iii. $\mu_{JT} = 0$ అయితే వాయువు స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలో వెచ్చబడదు, చల్లబడదు.

విలోమ ఉష్ణోగ్రత (T_i) (Inversion Temperature)

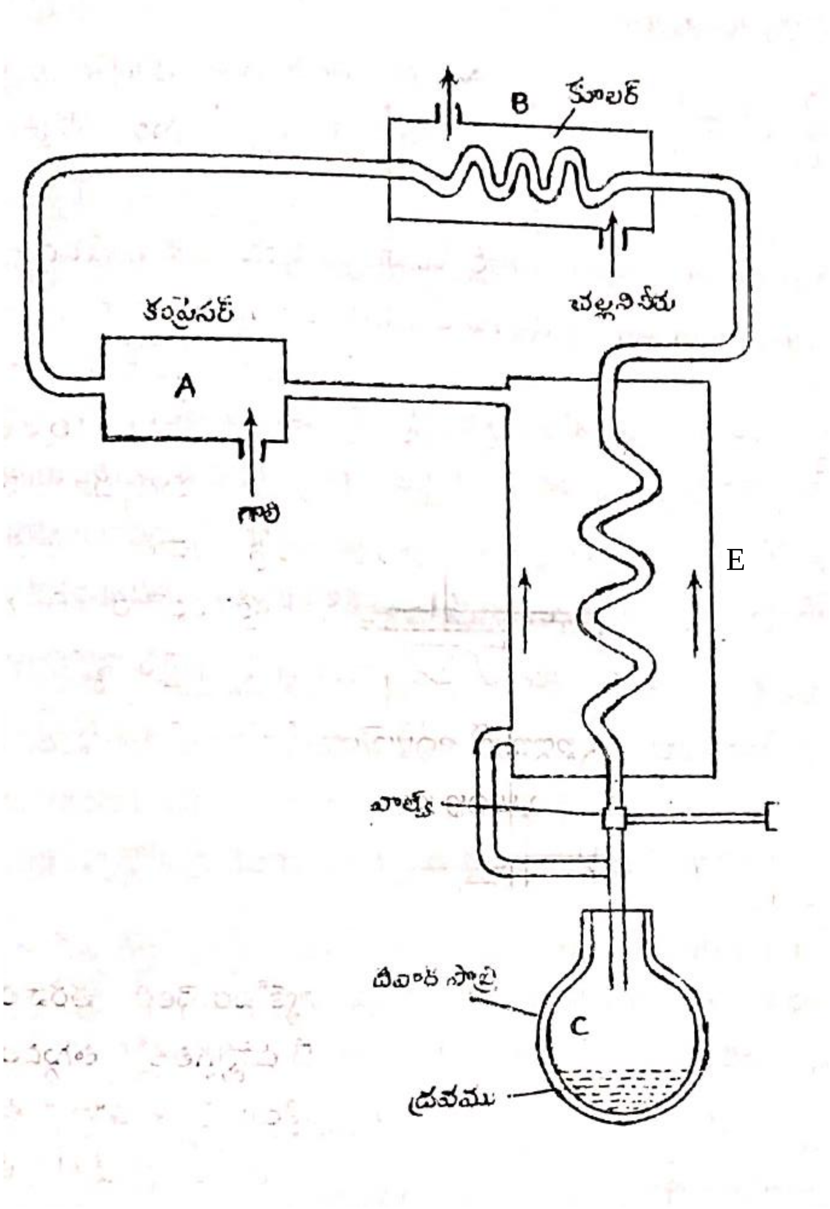
μ_{JT} విలువ సున్నా గా మారే ఉష్ణోగ్రతను "విలోమ ఉష్ణోగ్రత (T_i)" (inversion temperature) అంటారు. సాధారణ ఉష్ణోగ్రతల దగ్గర H_2, He మినహా మిగిలిన వాయువులు జౌల్ -థామ్సన్ వ్యాకోచంలో చల్లబడతాయి (μ_{JT} = + విలువ). ఈ విలోమ ఉష్ణోగ్రతను $\frac{2a}{Rb}$ గా రాస్తారు. (a,b లు వాండర్ వాల్ స్థిరాంకాలు).

జౌల్-థామ్సన్ ఫలితం యొక్క అనువర్తనం

- లిండే పద్ధతిలో జౌల్-థామ్సన్ ప్రభావాన్ని ప్రామాణిక ప్రక్రియగా తీసుకుంటారు.
- ఈ ప్రక్రియను పెట్రోకెమికల్ పరిశ్రమలో ఎక్కువగా ఉపయోగిస్తారు.
- ఇక్కడ వాయువులను ద్రవీకరించడానికి శీతలీకరణ ప్రభావాన్ని ఉపయోగిస్తారు.
- లిండే (Linde) ఈ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి గాలిని ద్రవీకరించాడు.
- దీనికి కావలసిన పరికరాన్ని ఈ క్రింది పటంలో చూడవచ్చు.
- ధూళి కణాలు CO_2 ల నుంచి వేరు చేసిన గాలిని సంపీడకం (compressor)లోకి పంపించి దానికి 200 అట్మాస్ఫియర్ ల పీడనాన్ని కలిగిస్తారు.

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

❖ ఈ సంపీడకంలో ఉత్పన్నమయ్యే వేడిని తొలగించడానికి గాలిని శీతలీకరణ భాగం (cooler B) లోకి పంపిస్తారు.



లిండే ద్రవీకరణ సాధనం

❖ దానిలో చల్లటి నీరు ప్రవహిస్తూ ఉంటుంది. కూలర్ నుంచి గాలి కొన్ని వందల మీటర్ల పొడవు ఉండి మెలికలు తిరిగిన (spiral) గొట్టంలో ప్రయాణం చేసి చివరనున్న వాల్వ్

నుంచి బయటకి అల్పపీడనం ఉన్న ప్రదేశం లోకి ప్రవేశిస్తుంది. ఈ ప్రసరణలో జౌల్-థామ్సన్ ఫలితానుసారం గాలి చల్లగా అవుతుంది.

- ఈ చల్లగా అయిన గాలి తిరిగి E లోకి ప్రసరిస్తుంది.
- ఈ విధంగా లోనికి వచ్చే గాలిని (వ్యాకోచానికి ముందు) చల్లబరుస్తుంది.
- E నుంచి గాలిని తిరిగి సంపీడకం లోకి పంపించి మళ్ళీ వ్యాకోచింపజేస్తారు.
- ఇలా చాలాసార్లు ఈ విధంగా చల్లగా అయిన తర్వాత వ్యాకోచం చెందగానే గాలి ద్రవీభవించి కిందనున్న దివార్ పాత్ర (Dewar flask) లో చేరుకుంటుంది.

ఒక వ్యవస్థలోకి ఉష్ణం బయట నుంచి ప్రవేశించడం గానీ, ఆ వ్యవస్థ నుంచి ఉష్ణం బయటికి పోవడానికి వీలులేని పరిస్థితుల్లో ఏర్పాటు చేసినప్పుడు ఆ వ్యవస్థలో జరిగే ప్రక్రియలను స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలు (adiabatic processes) అంటారు.

పాత్రగోడలు ఉష్ణ బంధక (insulator) పదార్థంతో చేసినవైతే స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలు సాధ్యమవుతాయి. కానీ సంపూర్ణ ఉష్ణ బంధక పదార్థాలు (perfect insulating materials) దొరకవు. సాధారణంగా చర్య అతి వేగంగా జరిగితే స్థిరోష్ణక చర్య జరిగిందని భావించవచ్చు. ఎందుకంటే అతి వేగ చర్యలలో ఉష్ణ వినిమయానికి (heat exchange) వ్యవధి ఉండదు.

స్థిరోష్ణక పరిస్థితులలో వాయువు వ్యాకోచించినప్పుడు దానితో పనిచేయిస్తే వాయువు చల్లగా అవుతుంది. దీనికి కారణం, పని చేయడానికి కావలసిన శక్తి బయట నుంచి రాలేదు కావున ఇది వాయు అణువుల గతిజశక్తి నుంచే లభ్యం కావాలి. ఈ విధంగా వాయువు పని చేయడంలో కొంత గతిజశక్తి వినియోగం అయితే అప్పుడు ఆ వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది.

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.

References:

1. A Textbook of Physical Chemistry, By A. S. Negi, S. C. Anand, John Wiley & Sons Canada Limited, Jul 1985.

2. Atkins' Physical Chemistry, By Peter Atkins, Julio de Paula · 2010, ninth edition, Oxford University press.

3. Essentials of Physical Chemistry by B. S. Bahl, Arun Bahl, G. D. Tuli · 2000, S. Chand Limited.

4. Principles of Physical Chemistry by Peter William Atkins, M. J. Clugston · 1986, Longman publishers.

5. Principles of Physical Chemistry by B.R. Puri, L.R. Sharma, M.S. Pathania · 2008, Vishal publishing company.

Web Links:

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Joule%E2%80%93Thomson_effect
2. https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Book%3A_Physical_Chemistry_(Fleming)/04%3A_Putting_the_First_Law_to_Work/4.05%3A_The_Joule-Thomson_Effect
3. https://www.comsol.co.in/multiphysics/joule-thomson-effect?parent=heat-transfer-conservation-of-energy-0402-442-262
4. https://www.youtube.com/watch?v=Y-fZxwZZkyI
5. https://www.slideshare.net/MidoOoz/the-joule-thomson-experiment

***

Content prepared by: Winnie Teja D., Lecturer in Chemistry, GDC(W), Kadapa.