দ্বাদশ অধ্যায়

তাপগতিবিজ্ঞান
(Thermodynamics)

12.1 আগকথা
12.2 তাপীয় সাম্যাৱস্থা
12.3 তাপগতিবিজ্ঞানৰ শূন্যতম বিধি
12.4 তাপ, আভ্যন্তৰীণ শক্তি আৰু কাৰ্য
12.5 তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধি
12.6 আপেক্ষিক তাপধৃতি
12.7 তাপগতিবিজ্ঞানৰ অৱস্থাগত চলক আৰু অৱস্থাৰ সমীকৰণ
12.8 তাপগতিৰ প্ৰক্ৰিয়া
12.9 তাপ ইঞ্জিন
12.10 ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ আৰু তাপ পাম্প
12.11 তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধি
12.12 পৰাৱৰ্তনীয় আৰু অপৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া
12.13 কাৰ্নট ইঞ্জিন
সাৰাংশ
মন কৰিবলগীয়া
অনুশীলনী

12.1 আগকথা (Introduction)

আগৰ অধ্যায়ত আমি পদাৰ্থৰ তাপীয় ধৰ্মসমূহৰ বিষয়ে আলোচনা কৰিছোঁ। এই অধ্যায়ত তাপ শক্তি সম্বন্ধীয় বিধিবোৰৰ বিষয়ে আমি আলোচনা কৰিম। যিবোৰ প্ৰক্ৰিয়াৰ দ্বাৰা তাপ শক্তি কাৰ্যলৈ আৰু কাৰ্য তাপ শক্তিলৈ ৰূপান্তৰিত হয় সেই বিষয়ে ইয়াত আলোচনা কৰিম। জাৰকালি হাতৰ তলুৱা দুখন ঘঁহি থাকিলে গৰম লাগে। এইক্ষেত্ৰত তলুৱা দুখন ঘঁহিবলৈ ব্যৱহাৰ হোৱা কাৰ্যখিনি তাপলৈ পৰিৱৰ্তন হয়। আনহাতে ভাপকলত তপত ভাপত থকা শক্তিয়ে পিষ্টনক কাৰ্য কৰাত সক্ষম কৰি তোলে। পিষ্টনে কৰা কাৰ্যৰ ফলত ৰেলগাড়ীৰ চকাই গতি লাভ কৰে।

পদাৰ্থ বিজ্ঞানত আমি তাপ (heat), তাপমাত্ৰা বা উষ্ণতা (temperature), কাৰ্য (work), আদি ধাৰণাবোৰৰ সংজ্ঞা যথেষ্ট সতৰ্কতাৰে দিয়া প্ৰয়োজন। ইতিহাসলৈ চালে দেখা যায় যে তাপৰ প্ৰকৃত ধাৰণাটো আহৰণ কৰিবলৈ মানুহে বহু কাল লৈছিল। মানুহে পোনতে তাপ এবিধ পিচল আৰু অদৃশ্য তৰল (fluid) বুলি ভাবিছিল। তেওঁলোকে ইয়াৰ নাম থৈছিল কেল'ৰিক (caloric)। পদাৰ্থত থকা ক্ষুদ্ৰ ক্ষুদ্ৰ ছিদ্ৰবোৰত কেল'ৰিক থাকে বুলি ধৰা হৈছিল। ভিন্ন উষ্ণতাত থকা দুটা বস্তু লগ লগাই দিলে উচ্চ উষ্ণতাত থকা বস্তুটোৰ পৰা নিম্ন উষ্ণতাৰ বস্তুটোলৈ কেল'ৰিক প্ৰৱাহিত হয় বুলি ভবা হৈছিল। ঠিক যেনেদৰে ভিন্ন উচ্চতালৈ পানী ভৰি থকা দুটা আধাৰক আনুভূমিক নলী এডালেৰে সংযোগ কৰি দিলে পানী উচ্চ উচ্চতাৰ পানীপৃষ্ঠৰ আধাৰৰ পৰা নিম্ন পানীপৃষ্ঠৰ আধাৰলৈ বৈ আহে, ঠিক তেনেদৰে। আধাৰ দুটাৰ পানীপৃষ্ঠৰ উচ্চতা সমান হৈ নপৰালৈকে আনুভূমিক নলীৰে পানীৰ প্ৰৱাহ চলি থাকে।

একেদৰে, তাপৰ 'কেলৰিক' ধাৰণা অনুসৰি দুয়োটা বস্তুৰ 'কেল'ৰিক পৃষ্ঠৰ উচ্চতা' (অৰ্থাৎ উষ্ণতা) সমান হৈ নপৰালৈকে তাপৰ প্ৰৱাহ বন্ধ নহয়।

সময় যোৱাৰ লগে লগে তাপৰ পুৰণি ধাৰণাটোৰ ঠাই ল'লে তাপৰ আধুনিক ধাৰণাই। ইয়াৰ মতে তাপ এবিধ তৰল নহয়, ই এবিধ শক্তিহে। এই সম্বন্ধীয় এটা গুৰুত্বপূৰ্ণ পৰীক্ষা 1798 চনত বেঞ্জামিন ট'মছন (Benjamin Thomson) (তেওঁক কাউণ্ট ৰুমফ'ৰ্ড বুলিও জনা যায়) বোলা বিজ্ঞানীজনে কৰিছিল। কামান প্ৰস্তুত কৰিবলৈ পিতল এচপৰা ফুটা কৰি থকা অৱস্থাত তেওঁ মন কৰিছিল যে পিতলখণ্ড তপত হৈ উঠে। উৎপন্ন হোৱা তাপে আনকি পানীও উতলাব পাৰে। পিতল চপৰা ফুটা কৰিবলৈ ব্যৱহাৰ কৰা বিন্ধনা (drill) ঘোঁৰাৰ দ্বাৰা ঘূৰোৱা হৈছিল। বিজ্ঞানীগৰাকীয়ে মন কৰিছিল যে উৎপন্ন হোৱা তাপৰ পৰিমাণ নিৰ্ভৰ কৰে ঘোঁৰাই কৰা কাৰ্যৰ পৰিমাণৰ ওপৰত, বিন্ধনাটো কিমান জোঙা তাৰ ওপৰত নহয়। তাপ সঁচাকৈয়ে যদি এবিধ তৰল হ'লহেঁতেন, তেন্তে বিন্ধনাৰ জোঙটো যিমানে তীক্ষ্ণ হ'লহেঁতেন, গাঁতটোও সিমানে ঠেক অথচ গভীৰ হ'লহেঁতেন। গাঁত যিমানে গভীৰ হয়, পিতলত থকা ছিদ্ৰবোৰৰ পৰা সিমানে অধিক কেল'ৰিক ওলাই আহিলহেঁতেন। পৰ্যবেক্ষণ পিছে তেনে নাছিল। ৰুমফ'ৰ্ডৰ পৰ্যবেক্ষণৰ মাত্ৰ এটা গ্ৰহণযোগ্য ব্যাখ্যা পোৱা গ'ল ঃ তাপ প্ৰকৃততে এবিধ শক্তি। পিতল ফুটা কৰা পৰীক্ষাত ঘোঁৰাই খৰচ কৰা যান্ত্ৰিক শক্তি বা কাৰ্যৰ মাথোঁ ৰূপান্তৰহে ঘটে তাপ শক্তিলৈ।

তাপগতিবিজ্ঞান নামৰ পদাৰ্থবিজ্ঞানৰ শাখাটোত তাপ আৰু উষ্ণতাৰ ধাৰণা আৰু লগতে বিভিন্ন ধৰণৰ শক্তি আৰু তাপ শক্তিৰ মাজৰ ৰূপান্তৰ সম্বন্ধে অধ্যয়ন কৰা হ'ব। তাপগতিবিজ্ঞান হ'ল স্থূল পৰিঘটনাৰ বিজ্ঞান। ইয়াত পদাৰ্থৰ আণৱিক অৱস্থালৈ নগৈ তাৰ স্থূল অৱস্থাৰ অধ্যয়ন কৰা হয়। ঊনৈশ শতিকাতেই— পদাৰ্থৰ আণৱিক ধাৰণা সম্পূৰ্ণৰূপে প্ৰতিষ্ঠা হোৱাৰ পূৰ্বেই তাপ বিজ্ঞানৰ ধাৰণা আৰু সূত্ৰ বা বিধিসমূহ প্ৰতিষ্ঠিত হৈছিল। তাপগতিবিজ্ঞানৰ দৃষ্টিকোণৰ পৰা পদাৰ্থৰ বৰ্ণনা দিবলৈ প্ৰয়োজন হোৱা স্থূল ভৌতিক ৰাশিৰ সংখ্যা তুলনামূলকভাৱে কম। তদুপৰি এনে ৰাশিবোৰ আমি আমাৰ সাধাৰণ অনুভূতিৰেই হৃদয়ংগম কৰিব পাৰোঁ, আৰু লগতে আমি এই ৰাশিসমূহৰ প্ৰত্যক্ষ জোখ-মাপো কৰিব পাৰোঁ। আনহাতে আমি যদি গেছীয় অৱস্থাত থকা পদাৰ্থ এবিধৰ আনুবীক্ষণিক (microscopic) বৰ্ণনা দিবলৈ যাওঁ তেন্তে গেছবিধত থকা বৃহৎসংখ্যক অণুৰ স্থানাংক আৰু লগতে সিহঁতৰ বেগ (velocity) উল্লেখ কৰিব লাগিব। গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বত দিয়া বৰ্ণনাবোৰ ইমান পুংখানুপুংখ নহ'লেও ইয়াত গেছ অণুবোৰৰ বেগৰ বণ্টন (distribution) আছে। তাপগতিবিজ্ঞানত এনে পুংখানুপুংখ আৰু আণৱিক বৰ্ণনা সম্পূৰ্ণ এৰাই চলা হয়। ইয়াৰ পৰিৱৰ্তে তাপগতিবিজ্ঞানত গেছৰ অৱস্থাৰ বৰ্ণনাৰ বাবে চাপ, আয়তন, উষ্ণতা, ভৰ আদিৰ লেখীয়া আমাৰ ইন্দ্ৰিয়ানুভূতিৰে বুজিব পৰা ৰাশি ব্যৱহাৰ কৰা হয়।

এইখিনিতে আমি বলবিজ্ঞান আৰু তাপগতিবিজ্ঞানৰ মাজৰ মূল পাৰ্থক্যৰ বিষয়ে উল্লেখ কৰিব পাৰোঁ। বলবিজ্ঞানত বল আৰু টৰ্কৰ (torque) প্ৰভাৱত হোৱা কণিকা বা বস্তুৰ গতিৰ বিষয়ে আলোচনা কৰা হয়। তাপগতিবিজ্ঞানত পদাৰ্থৰ থূল এটাৰ সমূহীয়া গতিৰ বিষয়ে অনুসন্ধান কৰা নহয়। বৰং পদাৰ্থৰ আভ্যন্তৰীণ স্থূল অৱস্থাৰ অনুসন্ধানহে ইয়াত কৰা হয়। বন্দুকৰ পৰা গুলী এটা মাৰিলে গুলীটোৰ যান্ত্ৰিক অৱস্থাৰ (বিশেষকৈ ইয়াৰ গতি শক্তিৰ) পৰিৱৰ্তন হয়, ইয়াৰ উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তন নহয়। গুলীটো যেতিয়া কাঠ এটুকুৰাত খুন্দা

** তাপগতিবিজ্ঞানত এন্ট্ৰ'পি, এন্থাল্পি আদিৰ লেখীয়া কিছুমান ৰাশিও আছে যিবোৰ আমাৰ অনুভূতিয়ে ধৰিব নোৱাৰে।*

মাৰে আৰু ৰৈ যায়, তেতিয়া গুলীটোৰ গতি শক্তি তাপলৈ পৰিৱৰ্তিত হয়। ফলত গুলী আৰু কাঠৰ উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। গুলীটোৰ উষ্ণতা তাৰ সমূহীয়া গতিৰ সৈতে জড়িত নহয়, বৰং তাৰ ভিতৰৰ আভ্যন্তৰীণ গতিৰ (বিশৃংখল) সৈতেহে সংলগ্ন।

12.2 তাপীয় সাম্যাৱস্থা (Thermal equilibrium)

বলবিজ্ঞানত সাম্যাৱস্থাৰ অৰ্থ হ'ল কোনো এটা কণিকা প্ৰণালীত (system) ক্ৰিয়া কৰা লব্ধ বল বা টৰ্ক শূন্য। তাপ বিজ্ঞানত পিছে 'সাম্যাৱস্থা'ৰ অৰ্থ কিছু বেলেগ। প্ৰণালী এটাৰ অৱস্থা বুজাবলৈ ব্যৱহাৰ কৰা স্থূল চলকবোৰ যদি সময়ৰ সৈতে সলনি নহয় তেন্তে প্ৰণালীটো তাপীয় সাম্যাৱস্থাত থকা বুলি কোৱা হয়। উদাহৰণস্বৰূপে পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ পৰা আন্তৰিত দৃঢ় আৰু বন্ধ পাত্ৰ এটাত থকা এক নিৰ্দিষ্ট প্ৰকৃতিৰ গেছৰ চাপ, আয়তন, উষ্ণতা আৰু ভৰ যদি সময়ৰ সৈতে সলনি নোহোৱাকৈ থাকে তেন্তে গেছবিধক তাপীয় সাম্যাৱস্থাত থকা বুলি কোৱা হ'ব।

প্ৰণালী এটা তাপীয় সাম্যত থকা বা নথকাটো নিৰ্ভৰ কৰে প্ৰণালীটোৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতা আৰু প্ৰণালীটোক তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ পৰা পৃথকাই ৰখা প্ৰাচীৰখনৰ বৈশিষ্ট্যৰ ওপৰত। দুটা পৃথক পাত্ৰত A আৰু B দুটা ভিন ভিন গেছ লোৱা যাওঁক। গেছৰ ওপৰত কৰা পৰীক্ষাবোৰৰ ভিত্তিত আমি ক'ব পাৰোঁ যে এক নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ গেছৰ চাপ আৰু আয়তনক দুটা স্বতন্ত্ৰ চলক (independent variable) হিচাপে ল'ব পাৰি। ধৰা হওঁক গেছ দুটাৰ চাপ আৰু আয়তন ক্ৰমে (P_A, V_A) আৰু (P_B, V_B)। ধৰা হওঁক প্ৰণালী দুটা ওচৰা-ওচৰিকৈ ৰখা হৈছে আৰু সিহঁতক এখন ৰুদ্ধতাপ (adiabatic) প্ৰাচীৰে পৰস্পৰৰ পৰা পৃথকাই ৰাখিছে। ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰে তাৰ মাজেৰে শক্তি (তাপ) প্ৰবাহিত হ'ব নিদিয়ে। ধৰা হওঁক আমি লোৱা প্ৰণালী দুটাত সিহঁতৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ পৰা একে ধৰণৰ ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰে অন্তৰিত কৰি ৰাখিছে। চিত্ৰ 12.1 (a) ত ব্যৱস্থাটো দেখুওৱা হৈছে। এইক্ষেত্ৰত দেখা যাব যে A গেছটোৰ চাপ আৰু আয়তনৰ যিকোনো মান (P_A, V_A) আনটো গেছ Bৰ চাপ আৰু আয়তনৰ যিকোনো সম্ভৱপৰ মানৰ (P_B, V_B)ৰ সৈতে সাম্যাৱস্থাত থাকিব। এতিয়া ধৰা হওঁক যে A আৰু Bৰ মাজৰ প্ৰাচীনখন ৰুদ্ধতাপ নহয় পৰিৱাহী (diathermic) প্ৰাচীৰহে। এইবাৰ দেখা যাব যে A আৰু B প্ৰণালী দুটাৰ স্থূল চলকবোৰ আপোনাআপুনি সলনি হ'বলৈ ধৰিছে আৰু প্ৰণালী দুটা সাম্যাৱস্থা লাভ নকৰালৈকে এই পৰিৱৰ্তন অব্যাহত থাকিব। ইয়াৰ পাছত প্ৰণালী দুটাৰ অৱস্থাৰ পৰিৱৰ্তন নঘটে। ঘটনাটো চিত্ৰ 12.1(b)ত দেখুওৱা হৈছে। গেছ দুটাৰ চাপ আৰু আয়তন চলক দুটা এই ক্ষেত্ৰত (P'_A, V'_A) আৰু (P'_B, V'_B) লৈ পৰিৱৰ্তিত হ'ব, আৰু প্ৰণালী দুটাই পুনৰ আন এক সাম্যাৱস্থা পাব। এনে অৱস্থাত প্ৰণালী দুটাৰ মাজৰ শক্তিৰ আদান-প্ৰদান বন্ধ হৈ পৰিব। প্ৰণালী দুটাই এনে অৱস্থা পালে আমি সিহঁতক তাপীয় সাম্যাৱস্থাত থকা বুলি কওঁ।

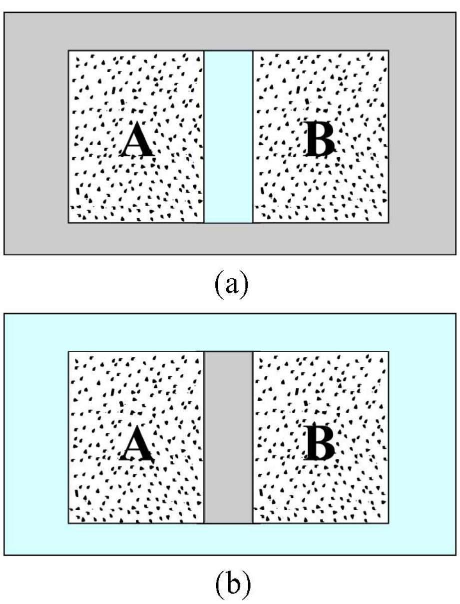
প্ৰশ্ন উঠে ঃ দুটা প্ৰণালীয়ে কেতিয়া পৰস্পৰৰ সৈতে তাপীয় সাম্যাৱস্থা লাভ কৰে? তোমালোকে নিজৰ অভিজ্ঞতাৰ পৰা ইয়াৰ উত্তৰটো বিচাৰি উলিয়াব পাৰিবা। তাপীয় সাম্যাৱস্থাত প্ৰণালী দুটাৰ উষ্ণতা সমান হৈ পৰে। তাপগতিবিজ্ঞানত উষ্ণতাৰ ধাৰণাটো কেনেকৈ আহে আমি চাম। তাপগতিবিজ্ঞানৰ শূন্যতম বিধিটোৱে এই ৰাশিটোৰ আভাস দিয়ে।

** দুয়োটা চলকেই সলনি নহ'বও পাৰে। সলনি কি হ'ব সেয়া নিৰ্ভৰ কৰিব প্ৰণালী দুটাৰ ওপৰত কেনে ধৰণৰ নিয়ন্ত্ৰণ আৰোপ কৰা হৈছে। যদি সিহঁতক স্থিৰ আয়তনৰ পাত্ৰত থোৱা হৈছে তেন্তে গেছ দুটাৰ কেৱল চাপহে সলনি হ'ব, আয়তন নহয়।*

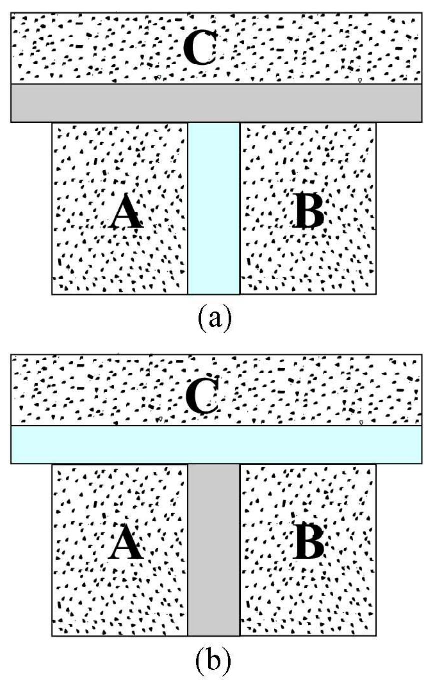
12.3 তাপগতিবিজ্ঞানৰ শূন্যতম বিধি (Zeroth Law of Thermodynamics)

ধৰাহওঁক A আৰু B দুটা প্ৰণালীক ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰ এখনে পৃথকাই ৰাখিছে [চিত্ৰ 12.2 (a)], আৰু প্ৰতিটো প্ৰণালী তৃতীয় এটা প্ৰণালী Cৰ সৈতে এখন পৰিবাহী প্ৰাচীৰৰ দ্বাৰা সংস্পৰ্শত আছে। প্ৰথম দুটা প্ৰণালীৰ অৱস্থাৰ (অৰ্থাৎ সিহঁতৰ স্থূল চলকবোৰ) পৰিৱৰ্তন ঘটিব। প্ৰণালী দুটাই Cৰ সৈতে সাম্যাৱস্থাত নহালৈকে এই পৰিৱৰ্তন চলি থাকিব। সাম্যাৱস্থা লাভ কৰাৰ পাছত ধৰাহওঁক A আৰু Bৰ মাজৰ ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰখনৰ ঠাইত এখন পৰিবাহী প্ৰাচীৰ স্থাপন কৰা হ'ল, আৰু Cকে A আৰু B প্ৰণালী দুটাৰ পৰা এখন ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰেৰে অন্তৰিত কৰি লোৱা হ'ল [চিত্ৰ 12.2 (b)]। দেখা যাব যে A আৰু B প্ৰণালী দুটাৰ অৱস্থাৰ নতুন কোনো পৰিৱৰ্তন নঘটে। অৰ্থাৎ **A আৰু B পৰস্পৰৰ সৈতে তাপীয় সাম্যাৱস্থালৈ আহিব।** এই পৰ্যবেক্ষণটোৱেই **তাপগতিবিজ্ঞানৰ শূন্যতম বিধিৰ** আধাৰ। এই বিধিটোৰ মতে যদি **দুটা প্ৰণালীয়ে পৃথকে পৃথকে তৃতীয় এটা প্ৰণালীৰ সৈতে তাপীয় সাম্যাৱস্থাত থাকে, তেন্তে প্ৰণালী দুটা নিজেও পৰস্পৰৰ সৈতে তাপীয় সাম্যত থাকিব।** তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম আৰু দ্বিতীয় বিধি দুটা প্ৰকাশ হোৱাৰ বহু বছৰ পাছত, 1931 চনত ফাউলাৰ (R.H. Fowler) নামৰ বিজ্ঞানী এজনে এই বিধিটো প্ৰকাশ কৰিছিল। যিহেতু এই বিধিটোৰ স্থান আন দুটা বিধিৰ আগত হ'ব লাগে, সেয়ে ইয়াক শূন্যতম বিধি বোলা হয়।

শূন্যতম বিধিৰ পৰা দেখা যায় যে দুটা প্ৰণালী তাপীয় সাম্যাৱস্থাত থাকিবলৈ হ'লে প্ৰণালী দুটাৰ এটা বিশেষ ভৌতিক ৰাশিৰ মান একে হ'ব লাগিব। তাপগতিৰ এই চলকটোক (T) উষ্ণতা (temperature) বা তাপমাত্ৰা বোলে। দুটা প্ৰণালী পৰস্পৰৰ সৈতে তাপীয় সাম্যাৱস্থাত থাকিলে প্ৰণালী দুটাৰ উষ্ণতা সমান হ'ব লাগিব। আগতে



চিত্ৰ 12.1 *(a) ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰে পৃথকাই ৰখা A আৰু B (গেছ) প্ৰণালী দুটা (b) পৰিবাহী প্ৰাচীৰে পৃথকাই ৰখা A আৰু B (গেছ) প্ৰণালী দুটা। এটা সময়ত গৈ প্ৰণালী দুটাই সাম্যাৱস্থা লাভ কৰে।*



চিত্ৰ 12.2 *(a) A আৰু B প্ৰণালী দুটা ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰ এখনৰ দ্বাৰা পৃথক হৈ আছে। আনহাতে প্ৰণালী দুটা Cৰ সৈতে পৰিবাহী প্ৰাচীৰ এখনৰ দ্বাৰা পৃথক হৈ আছে। (b) A আৰু Bৰ মাজৰ ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰৰ পৰিৱৰ্তে পৰিবাহী প্ৰাচীৰ এখন স্থাপন কৰা হ'ল। আনহাতে Cক A আৰু Bৰ পৰা ৰুদ্ধতাপ প্ৰাচীৰ এখনে পৃথক কৰিলে।*

উল্লেখ কৰা *A, B* আৰু *C* প্ৰণালী তিনিটাৰ কথা উল্লেখ কৰিলে আমি ক'ম ঃ যদি *A* আৰু *B* প্ৰণালী দুটাৰ প্ৰত্যেকেই *C* প্ৰণালীটোৰ সৈতে তাপীয় সাম্যাৱস্থাত থাকে তেন্তে $T_A = T_C$ আৰু $T_B = T_C$ হ'ব। অৰ্থাৎ $T_A = T_B$ হ'ব। তাৰমানে *A* আৰু *B* প্ৰণালী দুটাই পৰস্পৰৰ সৈতেও তাপীয় সাম্যত থাকিব।

শূন্যতম বিধিৰ যোগে আমি উষ্ণতাৰ সংজ্ঞাত উপনীত হ'লোঁ সঁচা, পিছে ভিন ভিন বস্তুৰ উষ্ণতাৰ মান কেনেকৈ নিৰ্ধাৰণ কৰা যায়? অন্য কথাত, উষ্ণতা জুখিবলৈ আমি কেনেকৈ এটা মাপকাঠি বা স্কেল (scale) তৈয়াৰ কৰোঁ? এই প্ৰশ্নৰ উত্তৰ আমি উষ্ণতামিতি (thermometry) অধ্যয়নত পাম।

12.4 তাপ, আভ্যন্তৰীণ শক্তি আৰু কাৰ্য (Heat, internal energy and work)

তাপ গতি বিজ্ঞানৰ শূন্যতম বিধিৰ সহায়ত উষ্ণতাৰ ধাৰণাটো আহে। এই ধাৰণাটো আমি আমাৰ সাধাৰণ বোধশক্তিৰে আয়ত্ত কৰিব পাৰোঁ। বস্তু এটা কিমান তপত তাৰেই মাপ হ'ল উষ্ণতা। দুটা বস্তু তাপীয় সংস্পৰ্শলৈ আহিলে উষ্ণতাই নিৰূপণ কৰে তাপ কোন দিশে প্ৰৱাহিত হ'ব। তাপ সদায় উচ্চ উষ্ণতাত থকা বস্তুৰ পৰা নিম্ন উষ্ণতাত তাপীয় সংস্পৰ্শত থকা বস্তুলৈ আপোনা আপুনি প্ৰৱাহিত হয়। বস্তু দুটাৰ উষ্ণতা সমান হৈ পৰিলে তাপৰ প্ৰৱাহ বন্ধ হয়। তেতিয়া বস্তু দুটাই তাপীয় সাম্যাৱস্থা লাভ কৰে। বিভিন্ন বস্তুৰ উষ্ণতাৰ মান নিৰূপণ কৰিবলৈ কেনেকৈ উষ্ণতাৰ স্কেল সাজিব পাৰি সেয়া আমি আগৰ অধ্যায়ত আলোচনা কৰিছোঁ। এতিয়া আমি তাপ (heat) আৰু ইয়াৰ সৈতে সম্বন্ধ থকা আভ্যন্তৰীণ শক্তি (internal energy) আৰু কাৰ্যৰ (work) দৰে কেইটামান ধাৰণা ব্যাখ্যা কৰিম।

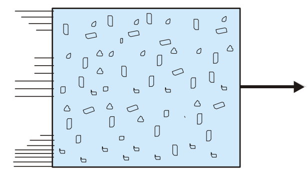
প্ৰণালী এটাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ ধাৰণাটো বুজা কঠিন নহয়। আমি জানো যে পদাৰ্থৰ থূপ এটাত বৃহৎ সংখ্যক অণু থাকে। অণুবোৰৰ গতি শক্তি (kinetic energy) আৰু স্থৈতিক শক্তিৰ (potential energy) যোগফলেই হ'ল প্ৰণালীটোৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি। ইয়াৰ আগতে আমি উল্লেখ কৰিছিলোঁ যে তাপগতিবিজ্ঞানত প্ৰণালী এটাৰ সামগ্ৰিক গতি শক্তিৰ কোনো তাৎপৰ্য নাই। কণিকা প্ৰণালী এটাৰ ভাৰকেন্দ্ৰটো (centre of mass) যি প্ৰসংগ প্ৰণালী (frame of reference) সাপেক্ষে স্থিৰ অৱস্থাত থকা বুলি ধৰিব পাৰি, সেই প্ৰসংগ প্ৰণালীটোত কণিকাবোৰৰ গতি শক্তি আৰু স্থিতি শক্তিৰ যোগফলেই হ'ল কণিকা প্ৰণালীটোৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি। ইয়াৰ পৰা বুজা যায় যে প্ৰণালী এটাত থকা অণুবোৰৰ যাদৃচ্ছিক (random) গতিয়েহে প্ৰণালীটোৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ মান নিৰ্ধাৰণ কৰে। প্ৰণালী এটাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিক *U* আখৰটোৰে বুজোৱা হয়।

আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ ধাৰণাটো বুজিবলৈ যদিও আমি পদাৰ্থৰ ভিতৰৰ অণুৰ কথা ক'বলগীয়া হৈছে, সেয়ে হ'লেও আভ্যন্তৰীণ শক্তি *U* প্ৰকৃততে পদাৰ্থ-প্ৰণালী এটাৰ স্থূল চলকহে। তদুপৰি এই চলকটো নিৰ্ভৰ কৰে প্ৰণালীটোৰ অৱস্থাৰ ওপৰতহে— প্ৰণালীটোৱে সেই অৱস্থাত কেনেকৈ উপনীত হ'ল তাৰ ওপৰত নহয়। আভ্যন্তৰীণ শক্তি *U* হ'ল প্ৰণালী এটাৰ তাপগতিভিত্তিক (thermodynamic) অৱস্থাসূচক চলক (state variable)— ইয়াৰ মান নিৰ্ভৰ কৰে প্ৰণালীটোৰ কেৱল অৱস্থাৰ ওপৰতহে, অৱস্থাটোৰ ইতিহাসৰ ওপৰত নহয়। অৰ্থাৎ অৱস্থাটোলৈ প্ৰণালীটোৱে কি বাটেৰে আহিল তাৰ খুটিনাতিৰ ওপৰত নহয়। চাপ, আয়তন আৰু উষ্ণতাৰ নিৰ্দিষ্ট মানে গেছ এবিধৰ এক নিৰ্দিষ্ট অৱস্থা বুজায়, আৰু এক নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ গেছৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি নিৰ্ভৰ কৰে গেছবিধৰ অৱস্থাটোৰ ওপৰতহে। গেছবিধে সেই অৱস্থাটো কেনেকৈ পালে তাৰ ওপৰত আভ্যন্তৰীণ শক্তি নিৰ্ভৰ নকৰে। চাপ, আয়তন, উষ্ণতা আৰু আভ্যন্তৰীণ শক্তি হ'ল প্ৰণালী এটাৰ (গেছীয়)

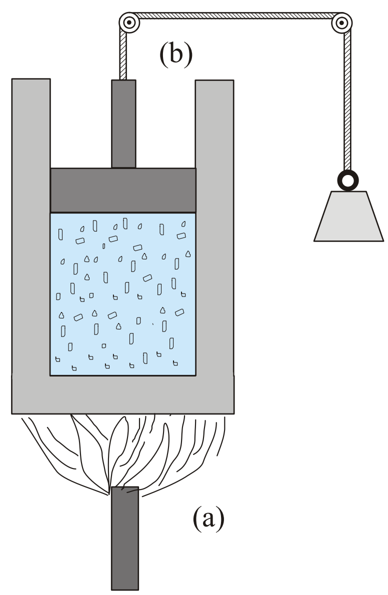
তাপগতিভিত্তিক অৱস্থাসূচক চলক (12.7 দফাটো চোৱা)— অণুবোৰৰ ওপৰত ক্রিয়াশীল যথেষ্ট দুৰ্বল প্রকৃতিৰ আন্তঃআণৱিক বলক (intermolecular forces) উপেক্ষা কৰিলে গেছৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি মানে গেছৰ অণুবোৰে প্রদর্শন কৰা বিভিন্ন ধৰণৰ যাদৃচ্ছিক গতিৰ বাবে সিহঁতে আহৰণ কৰা গতি শক্তিকেই বুজা যায়। ইয়াৰ পাছৰ অধ্যায়ত আমি দেখিম যে অণুবোৰৰ এই যাদৃচ্ছিক গতি কেৱল যে ৰৈখিক গতিহে তেনে নহয়, এই গতি ঘূর্ণন আৰু স্পন্দন প্রকৃতিৰো হয় (চিত্র 12.3)।

প্রণালী এটাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ পৰিৱৰ্তন বাৰু কেনেদৰে ঘটাব পাৰি? সৰলতাৰ খাতিৰত আমি পদার্থ প্রণালীটো এক নির্দিষ্ট ভৰৰ গেছ বুলি ধৰি লওঁ— গেছবিধ চিত্র 12.4ত দেখুওৱাৰ দৰে এটা পিষ্টনযুক্ত চুঙাত আবদ্ধ বুলি ধৰি লোৱা হওঁক। অভিজ্ঞতাৰ ফালৰ পৰা দেখা যায় যে গেছবিধৰ অৱস্থা (আৰু সেয়েহে ইয়াৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি) দুই ধৰণে সলনি কৰিব পাৰি। এটা উপায় হ'ল চুঙাটোক এনে এটা বস্তুৰ সংস্পর্শত ৰাখিব লাগে যাৰ উষ্ণতা গেছবিধৰ উষ্ণতাতকৈ বেছি। বস্তুটো আৰু গেছবিধৰ উষ্ণতাৰ পার্থক্যৰ বাবে বস্তুটোৰ পৰা গেছলৈ তাপ প্রৱাহিত হ'ব। ইয়াৰ ফলত গেছৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি বৃদ্ধি পাব। আনটো উপায় হ'ল গেছবিধৰ ওপৰত বাহ্যিক কার্য কৰা। ইয়াৰ ফলতো গেছৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি বৃদ্ধি পাব। ওপৰত উল্লেখ কৰা এই দুয়োটা প্রক্রিয়া বিপৰীতমুখেও পৰিচালিত কৰিব পাৰি। চুঙাৰ বাহিৰত লোৱা বস্তুটোৰ উষ্ণতা গেছৰ উষ্ণতাতকৈ কম হ'লে তাপ গেছৰ পৰা বস্তুটোলৈ প্রৱাহিত হ'ব। ঠিক একেদৰে গেছখিনিয়ে পিষ্টনটো বাহিৰলৈ ঠেলি দি নিজে কার্য কৰিব পাৰে। সংক্ষেপে ক'বলৈ গ'লে তাপ আৰু কার্য হ'ল তাপগতিযুক্ত প্রণালী এটাৰ অৱস্থা, আৰু আভ্যন্তৰীণ শক্তি পৰিৱৰ্তন কৰিব পৰা দুটা ভিন্ন উপায়।

এইখিনিতে তাপ আৰু আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ মাজৰ পার্থক্যটো আমি বুজি লোৱা উচিত। তাপ এবিধ শক্তি ঠিকেই, পিছে ই গতিযুক্ত শক্তিহে। পার্থক্যটোৰ মৌলিক গুৰুত্ব আছে। তাপগতিযুক্ত প্রণালী এটাৰ অৱস্থাটো নির্ভৰ কৰে তাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ ওপৰত, তাপৰ



চিত্র 12.3 *(a) বাকচটো স্থিৰে থকা অৱস্থাত গেছ এবিধৰ অণুবোৰৰ গতি শক্তি আৰু স্থিতি শক্তিৰ যোগফলেই হ'ল গেছবিধৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি U। গতি শক্তিৰ ভিতৰত অণুবোৰৰ বিভিন্ন ধৰণৰ গতি (ৰৈখিক, ঘূর্ণন, কম্পন) অন্তর্ভুক্ত কৰিব লাগিব। (b) একেটা বাকচ স্থিৰ নহৈ গতি কৰি থাকিলেও বাকচৰ গতি শক্তি গেছৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিত অন্তর্ভুক্ত নহয়।*



চিত্র 12.4 *তাপ আৰু কার্য হ'ল প্রণালী এটালৈ শক্তি স্থানান্তৰিত কৰা দুটা সুকীয়া পদ্ধতি। (a) তাপ হ'ল প্রণালী এটা আৰু তাৰ পাৰিপার্শ্বিকতাৰ মাজৰ উষ্ণতাৰ পার্থক্যৰ বাবে হোৱা শক্তিৰ স্থানান্তৰ। (b) কার্য হ'ল উষ্ণতাৰ পার্থক্য নথকা ক্ষেত্রত হোৱা শক্তিৰ স্থানান্তৰ যেনে, পিষ্টন এটাৰ সৈতে বান্ধি দিয়া ভাৰ এটা উঠা-নমা কৰি সমাপন কৰা কার্য।*

ওপৰত নহয়। যিদৰে '**এক বিশেষ অৱস্থাত থকা এবিধ গেছত এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ কাৰ্য থাকে**' বোলা উক্তিটোৰ কোনো অৰ্থ নাই, ঠিক সেইদৰে '**এক বিশেষ অৱস্থাত থকা এবিধ গেছত এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ তাপ থাকে**' বোলা কথাষাৰো অৰ্থহীন। আনহাতে '**এক বিশেষ অৱস্থাত থকা এবিধ গেছত এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি থাকে**' উক্তিটো অৰ্থযুক্ত। একেদৰে, '**প্ৰণালী এটাক এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ তাপ যোগান ধৰা হ'ল**' অথবা '**প্ৰণালী এটাই এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ কাৰ্য কৰিলে**' বোলা উক্তি দুটাও অৰ্থৱহ।

থোৰতে ক'ব পাৰি যে তাপগতিবিজ্ঞানত তাপ আৰু কাৰ্য ৰাশি দুটা অৱস্থাসূচক চলক নহয়। এই দুটা ৰাশি হ'ল প্ৰণালী এটালৈ শক্তি হস্তান্তৰ কৰাৰ পদ্ধতিহে। শক্তিৰ এই হস্তান্তৰৰ ফলত প্ৰণালী এটাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ পৰিৱৰ্তন ঘটে।

সাধাৰণতে আমি তাপক প্ৰায়ে আভ্যন্তৰীণ শক্তি বুলি আৰু আভ্যন্তৰীণ শক্তিক তাপ বুলি ভুল কৰোঁ। প্ৰাথমিক স্তৰৰ পদাৰ্থবিজ্ঞানৰ পুথি কিছুমানতো এই দুটা ৰাশিৰ মাজৰ পাৰ্থক্যৰ ওপৰত গুৰুত্ব দিয়া নহয়। পিছে তাপগতিবিজ্ঞানৰ যথাযথ জ্ঞানৰ বাবে ৰাশি দুটাৰ মাজৰ পাৰ্থক্য বুজাটো যথেষ্ট গুৰুত্বপূৰ্ণ।

12.5 তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধি (First Law of Thermodynamics)

আমি ইতিমধ্যে দেখিলোঁ যে প্ৰণালী এটাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি U প্ৰণালীটোলৈ শক্তি হস্তান্তৰ কৰি সলনি কৰিব পাৰি, আৰু শক্তি হস্তান্তৰৰ দুটা উপায় আছে ঃ তাপ আৰু কাৰ্য। ধৰা হওঁক

ΔQ = প্ৰণালীটোৱে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ পৰা লাভ কৰা তাপ

ΔW = প্ৰণালীটোৱে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ ওপৰত কৰা কাৰ্য

ΔU = প্ৰণালীটোৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ পৰিৱৰ্তন

শক্তিৰ সংৰক্ষণশীলতাৰ বিধি (principle of conservation of energy) ব্যৱহাৰ কৰি আমি পাওঁ

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \qquad (12.1)$$

অৰ্থাৎ প্ৰণালীটোক যোগান ধৰা শক্তিৰ (ΔQ) এটা অংশই তাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি (ΔU) বৃদ্ধি কৰে আৰু বাকীখিনি প্ৰণালীটোৱে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ ওপৰত কাৰ্য (ΔW) কৰাত ব্যৱহাৰ কৰে। সমীকৰণ (12.1)ক তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধি (First Law of Thermodynamics) বুলি জনা যায়। এই বিধিটো প্ৰকৃততে শক্তিৰ সংৰক্ষণশীলতাৰ বিধিহে— ইয়াত মাথোঁ পাৰিপাৰ্শ্বিকৰ পৰা প্ৰণালীটোলৈ সঞ্চাৰিত হোৱা শক্তিকো সাঙুৰি লোৱা হৈছে।

সমীকৰণ (12.1)ক আমি তলত দিয়া ধৰণেও লিখিব পাৰোঁ—

$$\Delta Q - \Delta W = \Delta U \qquad (12.2)$$

প্ৰণালীটো তাৰ প্ৰাৰম্ভিক অৱস্থাৰ পৰা অন্তিম অৱস্থালৈ বিভিন্ন পথেৰে যাব পাৰে। ধৰা হওঁক (P_1, V_1) হ'ল প্ৰণালীটোৰ প্ৰাৰম্ভিক অৱস্থা আৰু (P_2, V_2) তাৰ অন্তিম অৱস্থা। এতিয়া প্ৰণালীটোক (P_1, V_1) অৱস্থাৰ পৰা (P_2, V_2) অৱস্থালৈ নিবলৈ আমি প্ৰথমে গেছবিধৰ চাপ স্থিৰে ৰাখি তাৰ আয়তন V_1ৰ পৰা V_2লৈ সলনি কৰিব পাৰোঁ, অৰ্থাৎ আমি প্ৰথমে (P_1, V_2) অৱস্থালৈ যাব পাৰোঁ, আৰু তাৰ পাছত গেছবিধৰ আয়তন স্থিৰে ৰাখি তাৰ চাপ P_1ৰ পৰা P_2লৈ সলনি কৰিব পাৰোঁ যাতে গেছবিধে শেষত (P_2, V_2) অৱস্থাত উপনীত হয়। প্ৰক্ৰিয়াটো আমি অন্য এটা ধৰণেও সমাপন কৰিব পাৰোঁ ঃ প্ৰথমে আমি আয়তন স্থিৰে ৰাখি গেছবিধৰ চাপ সলনি কৰিব পাৰোঁ, আৰু তাৰপাছত চাপ স্থিৰে ৰাখি আয়তন সলনি কৰিব পাৰোঁ। যিহেতু U হ'ল অৱস্থাসূচক চলক সেয়ে ΔUৰ মান প্ৰণালীটোৰ কেৱল প্ৰাৰম্ভিক আৰু অন্তিম অৱস্থাৰ

ওপৰতহে নিৰ্ভৰশীল, প্ৰাৰম্ভিকৰ পৰা অন্তিম অৱস্থালৈ যোৱা পথটোৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল নহয়। পিছে ΔQ আৰু ΔWৰ মান সাধাৰণতে পথ নিৰ্ভৰশীল। সমীকৰণ *(12.2)*ৰ পৰা দেখা যায় যে $\Delta Q - \Delta W$ ৰাশিটো পিছে পথৰ বৈশিষ্ট্যৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ নকৰে। একেটা সমীকৰণৰ পৰা লগতে দেখা যায় যে প্ৰণালী এটাক যদি এনে এটা প্ৰক্ৰিয়াৰ মাজেৰে নিয়া হয় যাতে $\Delta U=0$ (উদাহৰণস্বৰূপে আদৰ্শ গেছৰ সমোষ্ণী (isothermal) প্ৰসাৰণত $\Delta U=0$ হয়। দফা *12.8* চোৱা।) তেন্তে

$$\Delta Q = \Delta W \text{ হ'ব।}$$

অৰ্থাৎ প্ৰণালীটোক যোগান ধৰা আটাইখিনি তাপ সি তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ ওপৰত কাৰ্য কৰাত খৰছ কৰে।

যদি আমি লোৱা প্ৰণালীটো এবিধ গেছ হয়, আৰু গেছবিধক যদি এটা পিষ্টনযুক্ত চুঙাত ৰখা হয়, তেন্তে পিষ্টনটো বাহিৰলৈ ঠেলি দিবলৈ গেছবিধে কাৰ্য সম্পাদন কৰিব লাগিব। যিহেতু বল = চাপ × ক্ষেত্ৰফল আৰু আয়তন = ক্ষেত্ৰফল × সৰণ, সেয়ে প্ৰণালীটোৱে P স্থিৰ চাপৰ বিপৰীতে কৰা কাৰ্য হ'ব।

$$\Delta W = P\,\Delta V$$

ইয়াত ΔV হ'ল গেছবিধৰ আয়তনৰ পৰিৱৰ্তন। এই ক্ষেত্ৰত সমীকৰণ (12.1) তলত দিয়া ধৰণে লিখিব পৰা যাব।

$$\Delta Q = \Delta U + P\,\Delta V \qquad (12.3)$$

সমীকৰণ (12.3)ৰ প্ৰয়োগ এটা চোৱা যাওঁক। ধৰা হওঁক 1 g পানীক আমি জুলীয়াৰ পৰা বাষ্পীয় অৱস্থালৈ নিম। পানীৰ বাষ্পীভৱনৰ লীন তাপ হ'ল 2256 Jg^{-1}. অৰ্থাৎ 1 g পানীৰ বাবে ΔQ = 2256 J। এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপত 1 g পানীৰ আয়তন হ'ল 1 cm^3 আৰু বাষ্প অৱস্থাত ইয়াৰ আয়তন 1671 cm^3 সেয়ে,

$$\Delta W = P\,(V_g - V_L)$$
$$= 1.013 \times 10^5 \times (1670) \times 10^{-6}$$
$$= 169.2 \text{ J}$$

সমীকৰণ (12.3) ব্যৱহাৰ কৰিলে আমি পাওঁ

$$\Delta U = 2256 - 169.2 = 2086.8 \text{ J}$$

ইয়াৰ পৰা দেখা গ'ল যে পানীখিনিক যোগান ধৰা বেছি ভাগ তাপ পানীখিনিক জুলীয়া অৱস্থাৰ পৰা বাষ্পীয় অৱস্থালৈ নিওঁতে তাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি বৃদ্ধি কৰাত ব্যৱহৃত হয়।

12.6 আপেক্ষিক তাপ ধৃতি (Specific heat capacity)

ধৰাহওঁক কোনো এবিধ পদাৰ্থৰ উষ্ণতা Tৰ পৰা $T + \Delta T$ লৈ পৰিৱৰ্তন কৰিবলৈ প্ৰয়োজন হোৱা তাপৰ পৰিমাণ হ'ল ΔQ। পদাৰ্থবিধৰ তাপধৃতিৰ (heat capacity) সংজ্ঞা হ'ল (অধ্যায় 11 চোৱা)

$$S = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad (12.4)$$

আমাৰ ধাৰণা মতে ΔQৰ মান পদাৰ্থবিধৰ ভৰৰ সমানুপাতিক হ'ব লাগে। সেয়ে তাপ ধৃতিও (S) ভৰৰ সমানুপাতিক হ'ব। তদুপৰি ইয়াৰ মান উষ্ণতাৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল হ'ব পাৰে। অৰ্থাৎ ভিন ভিন উষ্ণতাত পদাৰ্থবিধৰ উষ্ণতাৰ মান এক একক পৰিমাণে বৃদ্ধি কৰিবলৈ ভিন ভিন পৰিমাণৰ তাপৰ প্ৰয়োজন হ'ব। পদাৰ্থবিধৰ পৰিমাণ নিৰপেক্ষ ধ্ৰুৱক বৈশিষ্ট্য এটাৰ সংজ্ঞা দিবলৈ আমি Sক পদাৰ্থবিধৰ ভৰ mৰ (mৰ একক kg লৈ) দ্বাৰা হৰণ কৰি পাম

$$s = \frac{S}{m} = \left(\frac{1}{m}\right)\frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad (12.5)$$

ইয়াত sক পদাৰ্থবিধৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতি (specific heat capacity) বোলা হয়। এই ৰাশিটো পদাৰ্থবিধৰ প্ৰকৃতি আৰু ইয়াৰ উষ্ণতাৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল। আপেক্ষিক তাপ ধৃতিৰ একক হ'ল $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$।

যদি পদাৰ্থৰ পৰিমাণৰ বাবে তাৰ ভৰ mৰ পৰিৱৰ্তে পদাৰ্থবিধত থকা ম'লৰ (mole) সংখ্যা μ লোৱা হয় তেন্তে পদাৰ্থবিধৰ প্ৰতি ম'লৰ তাপ ধৃতিৰ সংজ্ঞা হ'ব

$$C = \frac{S}{\mu} = \frac{1}{\mu}\frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad (12.6)$$

Cকে পদাৰ্থবিধৰ ম'লাৰ তাপ ধৃতি (molar specific heat) বোলে। আপেক্ষিক তাপ ধৃতি sৰ দৰে C নিজেও পদাৰ্থৰ পৰিমাণৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল নহয়। ইয়াৰ মান পদাৰ্থবিধৰ প্ৰকৃতি, উষ্ণতা আৰু পদাৰ্থবিধক কি পৰিস্থিতিত তাপ যোগান ধৰা হৈছে তাৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ কৰে। ইয়াৰ একক হ'ল J mol^{-1} K^{-1}। পাছলৈ (গেছৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতিৰ ক্ষেত্ৰত) আমি দেখিম যে C বা s ৰ সংজ্ঞা দিবলৈ অন্য কেইটামান অতিৰিক্ত চৰ্তৰ প্ৰয়োজন হ'ব পাৰে। ইয়াত আমি C ৰ সংজ্ঞা দি দেখুৱাব খুজিছোঁ যে ম'লাৰ তাপ ধৃতিৰ বিষয়ে আমি কেইটামান পূৰ্বানুমান কৰিব পাৰোঁ।

তালিকা (12.1)ত এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ আৰু কোঠাৰ উষ্ণতাত কেইবিধমান পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক আৰু ম'লাৰ তাপ ধৃতিৰ মান তুলি দিয়া হৈছে।

গেছৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতিৰ ক্ষেত্ৰত আমি যিবোৰ পূৰ্বানুমান কৰিলোঁ সেইবোৰ পৰীক্ষাৰ ফলাফলৰ সৈতে মিলে বুলি আমি 13 নম্বৰ অধ্যায়ত দেখিবলৈ পাম। গোটা পদাৰ্থৰ ম'লাৰ তাপ ধৃতি সম্বন্ধে পূৰ্বানুমান কৰিবলৈ আমি শক্তিৰ সমবিভাজনৰ বিধিটো ব্যৱহাৰ কৰিম। ধৰাহওঁক এবিধ গোটা পদাৰ্থত থকা মুঠ পৰমাণুৰ সংখ্যা হ'ল N। প্ৰতিটো পৰমাণুৱে তাৰ সাম্য বিন্দু সাপেক্ষে কম্পন কৰি আছে। এক মাত্ৰিক (one dimensional) কম্পন কৰা পৰমাণু এটাৰ গড় শক্তি হ'ল $2 \times \frac{1}{2}\, k_BT = k_BT$। ত্ৰিমাত্ৰিক কম্পনৰ ক্ষেত্ৰত গড় শক্তি হ'ব $3\, k_BT$। গোটা পদাথৰ এক ম'লৰ বাবে মুঠ শক্তি হ'ব

$$U = 3\, k_BT \times N_A = 3\, RT$$

চাপ স্থিৰে থাকিলে $\Delta Q = \Delta U + P\,\Delta V \equiv \Delta U$, কাৰণ গোটা পদাৰ্থৰ ক্ষেত্ৰত ΔV উপেক্ষণীয়। সেয়ে,

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} = 3R \qquad (12.7)$$

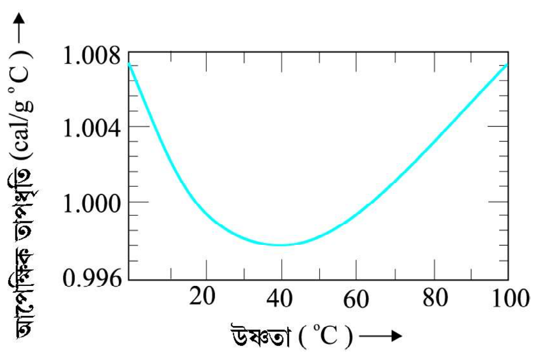
তালিকা 12.1ত দেখুওৱা মানসমূহ সাধাৰণ উষ্ণতাত পৰীক্ষামূলকভাৱে আহৰণ কৰা, আৰু এই মানসমূহ তাত্ত্বিকভাৱে গণনা কৰা মানৰ সৈতে প্ৰায় একে। (অৱশ্যে কাৰ্বনৰ ক্ষেত্ৰত এই দুটা মানৰ মাজত কিছু তাৰতম্য দেখা যায়। তাত্ত্বিক আৰু পৰীক্ষামূলক মানবোৰৰ মাজৰ এই মিল পিছে নিম্ন উষ্ণতাত নোহোৱা হয়।

তালিকা 12.1 এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ আৰু কোঠাৰ উষ্ণতাত কেইবিধমান পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক আৰু ম'লাৰ তাপধৃতি

পদাৰ্থ	আপেক্ষিক তাপ J kg^{-1}K^{-1}	ম'লাৰ তাপ ধৃতি J mol^{-1}K^{-1}
এলুমিনিয়াম	900.0	24.4
কাৰ্বন	506.5	6.1
তাম	386.4	24.5
সীহ	127.7	26.5
ৰূপ	236.1	25.5
টাংষ্টেন	134.4	24.9

পানীৰ আপেক্ষিক তাপধৃতি

তাপ জোখা পুৰণি এককটো হ'ল কেল'ৰি (calorie)। আগতে এক কেল'ৰিৰ সংজ্ঞা আছিল ঃ 1g পানীৰ উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি কৰিবলৈ প্ৰয়োজন হোৱা তাপৰ পৰিমাণ। অধিক শুদ্ধ জোখ-মাপৰ সহায়ত দেখা গ'ল যে পানীৰ আপেক্ষিক তাপধৃতিৰ মান উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তনৰ সৈতে সামান্য সলনি হয়। চিত্ৰ 12.5ত ৰ 0 °C পৰা 100 °C লৈ এই পৰিৱৰ্তন দেখুওৱা হৈছে।



চিত্ৰ 12.5 *উষ্ণতাৰ সৈতে পানীৰ আপেক্ষিক তাপধৃতিৰ পৰিৱৰ্তন।*

কেল'ৰিৰ এক শুদ্ধ সংজ্ঞাৰ বাবে, সেয়ে এক একক উষ্ণতাৰ অন্তৰালটো ক'ত লোৱা হ'ব সেয়া স্থিৰ কৰাটো প্ৰয়োজনীয় হৈ পৰিল। আজি আমি এক কেল'ৰি তাপৰ সংজ্ঞা এনেদৰে দিওঁ ঃ *1g পানীৰ উষ্ণতা 14.5 °Cৰ পৰা 15.5°Cলৈ বৃদ্ধি কৰিবলৈ যি পৰিমাণৰ তাপৰ প্ৰয়োজন হয় তাকেই এক কেল'ৰি তাপ বোলা হয়।* তাপ যিহেতু এবিধ শক্তি, সেয়ে তাপৰ জোখ-মাপৰ বাবে জুল (J) বোলা এককটোহে ব্যৱহাৰ কৰা বাঞ্ছনীয়। SI পদ্ধতিত পানীৰ আপেক্ষিক তাপধৃতিৰ মান হ'ল 4186 J kg^{-1} K^{-1} অথবা 4.186 J g^{-1} K^{-1}। আন এক ৰাশি তাপৰ যান্ত্ৰিক তুল্যাংকৰ (mechanical equivalent of heat) সংজ্ঞা হ'ল 1 কেল'ৰি তাপ উৎপন্ন কৰিবলৈ প্ৰয়োজন হোৱা কাৰ্যৰ পৰিমাণ— এই ধ্ৰুৱকটো প্ৰকৃততে শক্তিৰ এককৰ এটা ৰূপান্তৰ গুণিতকহে (conversion factor)। ইয়াৰ সহায়ত কেল'ৰিক জুললৈ সলনি কৰা হয়। যিহেতু কাৰ্য, তাপ বা অন্য প্ৰকাৰৰ শক্তি জুখিবলৈ আমি SI পদ্ধতিত জুল নামৰ একেটা এককেই ব্যৱহাৰ কৰোঁ, সেয়ে এই গুণিতকটোক আচলতে যান্ত্ৰিক তুল্যাংক বুলি কোৱা সঠিক নহয়।

আগতেই উল্লেখ কৰা হৈছে যে আপেক্ষিক তাপধৃতিৰ মান তাপ সৰবৰাহৰ প্ৰক্ৰিয়া আৰু পৰিৱেশৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ কৰে। উদাহৰণস্বৰূপে গেছৰ ক্ষেত্ৰত আমি দুটা আপেক্ষিক তাপধৃতিৰ সংজ্ঞা দিব পাৰোঁ। এটা হ'ল **স্থিৰ আয়তনত আপেক্ষিক তাপধৃতি** (specific heat capacity at constant volume) আৰু **স্থিৰ চাপত আপেক্ষিক তাপধৃতি** (specific heat capacity at constant pressure)। আদৰ্শ গেছৰ বাবে এই দুবিধ আপেক্ষিক তাপৰ বাবে এটা সৰল সম্বন্ধ আছে। সেইটো হ'ল—

$$C_p - C_v = R \qquad (12.8)$$

ইয়াত C_p আৰু C_v হ'ল আদৰ্শ গেছটোৰ ক্ৰমে স্থিৰ চাপ আৰু স্থিৰ আয়তনত ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতি। আনহাতে R হ'ল গেছৰ সাৰ্বজনীন ধ্ৰুৱক (universal gas constant)। সমীকৰণ (12.8)ত দিয়া সম্বন্ধটো প্ৰতিষ্ঠা কৰিবলৈ আমি 1 ম'ল গেছৰ বাবে সমীকৰণ (12.3) ব্যৱহাৰ কৰিম ঃ

$$\Delta Q = \Delta U + P\,\Delta V$$

যদি গেছবিধে স্থিৰ আয়তনত ΔQ তাপ গ্ৰহণ কৰে তেন্তে $\Delta V=0$। সেয়ে,

$$C_v = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)_v = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T}\right)_v = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T}\right) \qquad (12.9)$$

শেষৰ পদটোত V চিহ্নটো বাদ দিয়া হৈছে কাৰণ আদৰ্শ গেছৰ বাবে Uৰ মান কেৱল উষ্ণতাৰ ওপৰতহে নিৰ্ভৰ কৰে। (বন্ধনীৰ তলত দিয়া চিহ্নটোৱে সেই ৰাশিটো স্থিৰে থকাটো বুজায়।) আনহাতে স্থিৰ চাপত গেছবিধে ΔQ তাপ গ্ৰহণ কৰিলে

$$C_p = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)_p = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T}\right)_p + P\left(\frac{\Delta V}{\Delta T}\right)_p \qquad (12.10)$$

প্ৰথম বন্ধনীটোৰ তলৰ পৰা P আখৰটো বাদ দিব পাৰি কাৰণ আদৰ্শ গেছৰ বাবে Uৰ মান কেৱল Tৰ ওপৰতহে নিৰ্ভৰ কৰে। আকৌ, এক ম'ল আদৰ্শ গেছৰ বাবে আমি পাওঁ

$$PV = RT$$

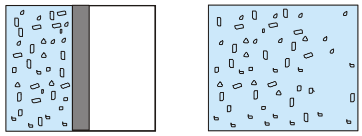
ইয়াৰ পৰা পাম

$$P\left(\frac{\Delta V}{\Delta T}\right)_p = R \qquad (12.11)$$

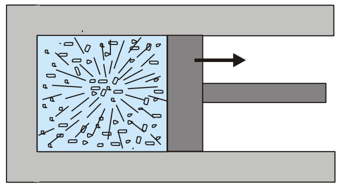
সমীকৰণ (12.9), (12.10) আৰু (12.11)ৰ পৰা আমি সমীকৰণ (12.8)ত দিয়া সম্বন্ধটো স্থাপন কৰিব পাৰোঁ।

12.7 তাপগতিবিজ্ঞানৰ অৱস্থাগত চলক আৰু অৱস্থাৰ সমীকৰণ (Thermodynamic state variables and Equation of State)

কোনো এটা তাপগতিবিশিষ্ট প্ৰণালীৰ প্ৰতিটো সাম্যাৱস্থাৰ (equilibrium state) সম্পূৰ্ণ বৰ্ণনা দিবলৈ যিবোৰ স্থূল চলক ব্যৱহাৰ কৰা হয় সেইবোৰক প্ৰণালীটোৰ অৱস্থাসূচক চলক (state variable) বোলে। উদাহৰণস্বৰূপে কোনো এবিধ গেছৰ এক বিশেষ সাম্যাৱস্থাৰ সম্পূৰ্ণ বৰ্ণনা দিবলৈ সেই অৱস্থাত গেছবিধৰ চাপ, আয়তন, উষ্ণতা আৰু ভৰৰ (আৰু গেছবিধ যদি একাধিক গেছৰ মিশ্ৰণ হয় তেন্তে সেই মিশ্ৰণটোৰ প্ৰকৃতি) নিৰ্দিষ্ট মানৰ প্ৰয়োজন। তাপগতিবিশিষ্ট প্ৰণালী এটা সদায় সাম্যাৱস্থাত নাথাকিবও পাৰে। উদাহৰণস্বৰূপে শূন্য অৱস্থালৈ মুক্তভাৱে প্ৰসাৰণ ঘটা গেছ এবিধ সাম্যাৱস্থাত নাথাকে [চিত্ৰ (12.6(a)]। প্ৰসাৰণ দ্ৰুতভাৱে হ'লে গেছ এবিধৰ প্ৰতিটো অংশতেই চাপ সুষম নহয়। একেদৰে, গেছৰ মিশ্ৰণ এটাৰ বিস্ফোৰণ ঘটা (যেনে— পেট্ৰ'লৰ বাষ্প আৰু বায়ুৰ মিশ্ৰণ এটাত জুইৰ ফিৰিঙতি পৰিলে হোৱা বিস্ফোৰণ), অৱস্থাতো গেছবিধ সাম্যাৱস্থাত নাথাকে। কাৰণ তেতিয়া গেছবিধৰ উষ্ণতা আৰু চাপ গেছবিধৰ সকলো স্থানতে একে নহয় [চিত্ৰ (12.6(b)]।



(a)



(b)

চিত্ৰ 12.6 *(a) শূন্যস্থানৰ পৰা পৃথকাই ৰখা দুৱাৰখন আঁতৰাই দিয়াৰ লগে লগে গেছবিধৰ মুক্ত প্ৰসাৰণ ঘটে। (b) গেছৰ মিশ্ৰণ এটাত হোৱা বিস্ফোৰণ। দুয়ো ক্ষেত্ৰতে গেছবিধ সাম্যাৱস্থাত নাই আৰু গেছবিধক অৱস্থাগত চলকেৰে বৰ্ণনা কৰিব নোৱাৰি।*

অৱশেষত পিছে গেছবিধৰ প্ৰতিটো বিন্দুতে উষ্ণতা আৰু চাপ একে হৈ পৰে আৰু গেছবিধে তেতিয়া তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ সৈতে তাপীয় আৰু যান্ত্ৰিক সাম্যাৱস্থালৈ আহে। চমুকৈ ক'বলৈ গ'লে অৱস্থাগত চলকসমূহে প্ৰণালী এটাৰ সাম্যাৱস্থাৰ বৰ্ণনা দিয়ে। প্ৰণালী এটাৰ ভিন ভিন অৱস্থাগত চলকসমূহ সাধাৰণতে পৰস্পৰৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল। চলকসমূহৰ মাজৰ গাণিতিক সম্বন্ধটোক প্ৰণালীটোৰ অৱস্থাৰ সমীকৰণ বোলে। উদাহৰণস্বৰূপে আদৰ্শ গেছৰ ক্ষেত্ৰত ইয়াৰ অৱস্থাৰ সমীকৰণটো হ'ল

$$PV = \mu RT$$

এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ গেছৰ বাবে, অৰ্থাৎ μৰ এক নিৰ্দিষ্ট মানৰ বাবে P, V আৰু Tৰ ভিতৰত যিকোনো দুটা ৰাশি স্বতন্ত্ৰ, যেনে P আৰু V অথবা T আৰু V। এক নিৰ্দিষ্ট উষ্ণতাৰ বাবে চাপ (P) আৰু আয়তন (V)ৰ মাজৰ লেখবিধক সমোঞ্চ বা সমতাপ ৰেখা (isotherm) বোলে। প্ৰকৃত গেছৰ (real gas) অৱস্থাৰ সমীকৰণবোৰ আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণতকৈ অধিক জটিল হয়।

তাপগতিক অৱস্থাত চলক দুই ধৰণৰ— **আকাৰগত** (extensive) আৰু **অৱস্থাগত** (intensive)। আকাৰগত চলকবোৰে প্ৰণালী এটাৰ আকাৰৰ তথ্য বহন কৰে। চাপ আৰু উষ্ণতাৰ দৰে অৱস্থাগত চলকবোৰ প্ৰণালীটোৰ আকাৰৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ নকৰে। প্ৰণালী এটাৰ কোনবোৰ চলক আকাৰগত আৰু কোনবোৰ অৱস্থাগত সেয়া নিৰূপণ কৰিবলৈ তাপীয় সাম্যত থকা প্ৰণালী এটা লোৱা যাওঁক। ধৰাহওঁক প্ৰণালীটোক দুটা সমান ভাগত ভাগ কৰি দিয়া হ'ল। যিবোৰ চলকৰ মান প্ৰণালীটোৰ দুটা ভাগৰ প্ৰত্যেকতে অপৰিৱৰ্তিত হৈ থাকে তেনেবোৰ চলকক আমি অৱস্থাগত চলক বুলি কওঁ। আনহাতে প্ৰণালীটোৰ আকাৰ আধা হৈ পৰাৰ ফলত যিবোৰ চলকৰ মান আধা হৈ পৰে সেইবোৰক আকাৰগত চলক বোলে। সহজে বুজা যায় যে আভ্যন্তৰীণ শক্তি (U), আয়তন (V), মুঠ ভৰ (M), আদি আকাৰগত চলক। আনহাতে চাপ (P), উষ্ণতা (T) আৰু ঘনত্ব (ρ) হ'ল অৱস্থাগত চলক। তাপবিজ্ঞানৰ সমীকৰণবোৰৰ যথাৰ্থতা পৰীক্ষা কৰিবলৈ চলকবোৰৰ এই শ্ৰেণী বিভাজনৰ সহায় ল'ব পাৰি। উদাহৰণস্বৰূপে তলত দিয়া সমীকৰণটো লোৱা যাওঁক

$$\Delta Q = \Delta U + P\ \Delta V$$

সমীকৰণটোৰ সমান চিনৰ দুয়ো পক্ষত থকা ৰাশিবোৰৰ আটাইকেইটা আকাৰগত চলক। (Pৰ লেখীয়া এটা অৱস্থাগত চলক আৰু ΔV ৰ দৰে এটা আকাৰগত চলকৰ পূৰণফল সদায় এটা আকাৰগত চলক হয়।)

12.8 তাপগতিক প্ৰক্ৰিয়াসমূহ (Thermodynamic processes)

12.8.1 সাম্যপ্ৰায় প্ৰক্ৰিয়া (Quasi-static process)

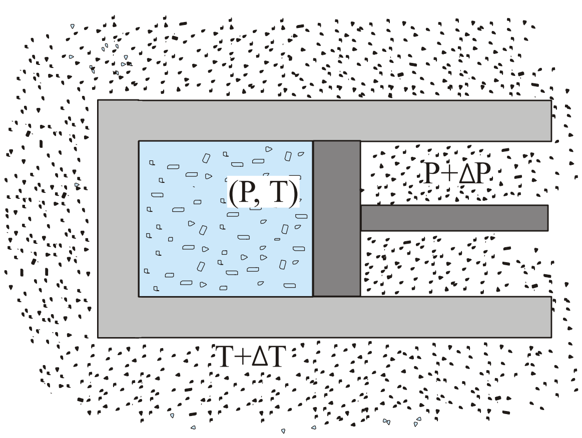
পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ সৈতে তাপীয় আৰু যান্ত্ৰিক সাম্যাৱস্থাত থকা এবিধ গেছ লোৱা যাওক। এইক্ষেত্ৰত গেছবিধৰ চাপ বাহ্যিক চাপৰ সমান আৰু উষ্ণতা পাৰিপাৰ্শ্বিকৰ উষ্ণতাৰ সমান। ধৰাহওঁক গেছবিধৰ চাপ হঠাৎ হ্ৰাস কৰি দিয়া হ'ল (যেনে ঃ গেছবিধ থকা চুঙাটোৰ মুখত লগোৱা পিষ্টনটোৰ ওপৰত এক নিৰ্দিষ্ট ভাৰ আছিল। এতিয়া ভাৰটো আঁতৰাই দিয়া হ'ল)। এনে কৰিলে পিষ্টনটো বাহিৰলৈ ত্বৰিত হ'ব। প্ৰক্ৰিয়াটোত গেছবিধ যিকেইটা অৱস্থাৰ মাজেৰে পাৰ হৈ যাব সেয়া সাম্যাৱস্থা নহয়। সাম্যহীন অৱস্থাবোৰত চাপ আৰু উষ্ণতাৰ কোনো নিৰ্দিষ্ট মান নাথাকে। একেদৰে, যদি গেছবিধ আৰু তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত উষ্ণতাৰ এক নিৰ্দিষ্ট পাৰ্থক্যৰ সৃষ্টি কৰা হয় তেন্তে গেছ আৰু পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত তাপৰ দ্ৰুত আদান-প্ৰদান ঘটিব। এইক্ষেত্ৰতো গেছবিধ এলানি সাম্যহীন অৱস্থাৰ মাজেৰে পাৰ হৈ যাব। এটা সময়ত পিছে গেছবিধে সাম্যাৱস্থা লাভ কৰিব আৰু তেতিয়া তাৰ চাপ আৰু উষ্ণতা পাৰিপাৰ্শ্বিকৰ সমান হ'বগৈ। 12.7 অনুচ্ছেদত উল্লেখ কৰা গেছ এবিধৰ মুক্ত প্ৰসাৰণ আৰু গেছ-মিশ্ৰণৰ বিস্ফোৰণৰ উদাহৰণ দুটাতো গেছ দুবিধ সাম্যহীন অৱস্থাৰ মাজেৰে পাৰ হৈ যায়।

প্ৰণালী এটাৰ সাম্যহীন অৱস্থা অধ্যয়ন কৰা জটিল। এনে অৱস্থা অধ্যয়ন কৰিবলৈ সেয়ে, এটা কৌশল লোৱা হয়। ধৰি লোৱা হয় যে সাম্যহীন প্ৰক্ৰিয়াটোৰ প্ৰতিটো অৱস্থাই একোটা সাম্যৰ অৱস্থা। স্বাভাৱিকতে এনে এটা প্ৰক্ৰিয়া অতিশয় মন্থৰ হ'ব লাগিব। সেয়ে এনে সাম্যক সাম্যপ্ৰায় (quasi-static) অৱস্থা বোলে। (সাম্যপ্ৰায়ৰ অৰ্থ হ'ল মোটামুটিকৈ সাম্যাৱস্থাত থকা অৱস্থা)। প্ৰণালীটোৰ চলকবোৰ (P, V, T) এনেক্ষেত্ৰত ইমান ধীৰ গতিত সলনি হয় যে প্ৰতিটো স্তৰতে প্ৰণালীটোৱে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকৰ

* *আগতে আমি Qক এটা অৱস্থা চলক নহয় বুলি উল্লেখ কৰিছিলো পিছে ΔQ প্ৰণালীৰ ভৰৰ সমানুপাতিক। সেয়ে ΔQ এটা আকাৰগত চলক।*

সৈতে সাম্যাৱস্থাত থাকে। সাম্যপ্ৰায় অৱস্থাত, প্ৰতিটো স্তৰতে, প্ৰণালীটো তাৰ বাহ্যিক চাপৰ তাৰতম্য ক্ষুদ্ৰাতিক্ষুদ্ৰ। উষ্ণতাৰ ক্ষেত্ৰতো একেটা কথা প্ৰযোজ্য। সাম্যপ্ৰায় অৱস্থা এটাৰ মাজেৰে প্ৰণালী এটাত (P, T) অৱস্থাৰ পৰা (P', T') অৱস্থালৈ নিবলৈ আমি প্ৰণালীটোৰ ওপৰত প্ৰয়োগ কৰা বাহ্যিক চাপৰ মান (P) সামান্য সলনি কৰি দিওঁ। প্ৰণালীটোৱে কিছু সময়ৰ পাছত তাৰ নিজৰ চাপৰ মান বাহ্যিক চাপৰ সৈতে সমান কৰি ল'ব। আমি পুনৰ চাপৰ মান সামান্য সলনি কৰি দিম। প্ৰণালীটোৱে পুনৰ তাৰ নিজৰ চাপ সলনি কৰি ল'ব। এইদৰে আমি প্ৰক্ৰিয়াটো অতিশয় ধীৰ গতিত চলাই নিম। অৱশেষত প্ৰণালীটোৰ নিজৰ চাপ P' হ'বগৈ। উষ্ণতা সলনি কৰিবলৈও আমি একে ধৰণৰ পদ্ধতি এটা হাতত ল'ম যাতে প্ৰণালীটোৰ উষ্ণতা T ৰ পৰা অৱশেষত T' হয়গৈ।

সাম্যপ্ৰায় অৱস্থা দেখদেখকৈ এটা কাল্পনিক প্ৰক্ৰিয়া। কাৰ্যক্ষেত্ৰত যিবোৰ প্ৰক্ৰিয়া অতি ধীৰ গতিত আগবাঢ়ে, য'ত পিষ্টনৰ ত্বৰণ নঘটে, প্ৰণালী আৰু পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজৰ উষ্ণতাৰ তাৰতম্য অতি কম, ইত্যাদি, প্ৰক্ৰিয়াক আমি মোটামুটিভাৱে আদৰ্শ সাম্যপ্ৰায় অৱস্থা বুলি ধৰি ল'ব পাৰোঁ। আগতীয়াকৈ



চিত্ৰ 12.7 *সাম্যপ্ৰায় অৱস্থাৰ ক্ষেত্ৰত প্ৰণালী এটা আৰু তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজৰ উষ্ণতা আৰু চাপৰ পাৰ্থক্য অতিশয় কম হয়।*

উল্লেখ নকৰিলে এতিয়াৰ পৰা আমি প্ৰক্ৰিয়াবোৰক সাম্যপ্ৰায় অৱস্থাৰ প্ৰক্ৰিয়া বুলি ধৰি ল'ম।

যিটো প্ৰক্ৰিয়াত প্ৰণালীটোৰ উষ্ণতা স্থিৰে থাকে তাক **সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়া** (isothermal process) বোলে। স্থিৰ উষ্ণতাত থকা তাপৰ বৃহৎ উৎস এটাৰ সংস্পৰ্শত ধাতুৰ চুঙা এটাৰ ভিতৰত এবিধ গেছ লৈ যদি গেছবিধক প্ৰসাৰিত হ'বলৈ দিয়া হয় তেন্তে তেনে এটা প্ৰক্ৰিয়াক সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়া বুলি কোৱা হ'ব। (উৎসটো যিহেতু বৃহৎ, সেয়ে ইয়াৰ তাপ ধৃতিও বৃহৎ। গেছবিধে উৎসৰ পৰা তাৰ শোষণ কৰাৰ ফলত উৎসৰ উষ্ণতা বিশেষ সলনি নকৰে)। যিবোৰ প্ৰক্ৰিয়াত চাপ স্থিৰে থাকে তেনে প্ৰক্ৰিয়াক **সমচাপ প্ৰক্ৰিয়া** (isobaric process) আৰু যিবোৰত আয়তন স্থিৰে থাকে তেনে প্ৰক্ৰিয়াক **সমায়তনী প্ৰক্ৰিয়া** (isochoric process) বোলে। আনহাতে প্ৰণালী এটাক যদি তাৰ চাৰিওফালৰ পৰিৱেশৰ পৰা অন্তৰিত কৰি ৰখা হয় যাতে প্ৰণালীটো আৰু তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত তাপৰ আদান-প্ৰদান নহয়, তেন্তে তেনে অৱস্থাত হোৱা প্ৰক্ৰিয়াক **তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়া** (adiabatic process) বোলে। এই বিশেষ প্ৰক্ৰিয়াবোৰ আৰু সিহঁতৰ মুখ্য বৈশিষ্ট্যবোৰ তলত 12.2 নম্বৰ তালিকাত দেখুওৱা হৈছে—

তালিকা 12.2 তাপগতিবিজ্ঞানৰ কেইটামান বিশেষ প্ৰক্ৰিয়া

প্ৰক্ৰিয়া	বৈশিষ্ট্য
সমোষ্ণী	উষ্ণতা স্থিৰে থাকে
সমচাপ	চাপ স্থিৰে থাকে
সমায়তনী	আয়তন স্থিৰে থাকে
তাপৰোধী	প্ৰণালী আৰু পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত তাপৰ আদান-প্ৰদান নঘটে ($\Delta Q = 0$)

এই প্ৰক্ৰিয়াবোৰৰ বিষয়ে আমি এতিয়া এক বিতং আলোচনা কৰিম।

সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়া

সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়া (T স্থিৰ) এটাৰ বাবে আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণটোৰ পৰা পাওঁ

$$PV = \text{ধ্ৰুৱক}$$

অৰ্থাৎ উষ্ণতা স্থিৰে থকা অৱস্থাত এক নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ গেছৰ চাপ তাৰ আয়তনৰ ব্যস্তানুপাতিক। এইটো আচলতে বয়লৰ বিধি (Boyle's Law)।

ধৰাহওঁক আদৰ্শ গেছ এটাই সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াৰে (T উষ্ণতাত) তাৰ আদি অৱস্থা (P_1, V_1)ৰ পৰা অন্তিম অৱস্থা (P_2, V_2) লৈ যায়। আদি আৰু অন্তিম অৱস্থা দুটাৰ মাজৰ কোনো এটা বিশেষ অৱস্থাত যেতিয়া গেছটোৰ আয়তন $V + \Delta V$ হয় (ইয়াত ΔV যথেষ্ট সৰু) আৰু তাৰ চাপ P হয় তেতিয়া গেছবিধে কৰা কাৰ্য হ'ব

$$\Delta W = P \Delta V$$

এইবাৰ $\Delta V \rightarrow 0$ হিচাপে লৈ সম্পূৰ্ণ প্ৰক্ৰিয়াটোৰ বাবে ΔW ৰ সমষ্টি উলিয়ালে আমি পাম

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV$$

$$\because PV = \mu RT$$

$$\therefore W = \mu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \mu RT \ \ln \frac{V_2}{V_1} \qquad (12.12)$$

আদৰ্শ গেছৰ ক্ষেত্ৰত আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ মান ইয়াৰ উষ্ণতাৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল। সেয়ে, সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াত আদৰ্শ গেছৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি সলনি নহয়। তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধি প্ৰয়োগ কৰি দেখা যায় যে গেছবিধক যোগান ধৰা তাপ গেছবিধে কাৰ্য কৰাত সম্পূৰ্ণৰূপে ব্যৱহাৰ কৰে, অৰ্থাৎ, $Q = W$। মন কৰা যে সমীকৰণ 12.12ত $V_2 > V_1$ হ'লে $W > 0$ আৰু $V_2 < V_1$ হ'লে $W < 0$ হ'ব। অৰ্থাৎ, সমোষ্ণী প্ৰসাৰণত গেছে তাপ শোষণ কৰি কাৰ্য সমাপন কৰে, আনহাতে সমোষ্ণী সংকোচনত গেছবিধৰ ওপৰত তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাই কাৰ্য কৰে আৰু তাপ উদ্ভৱ হয়।

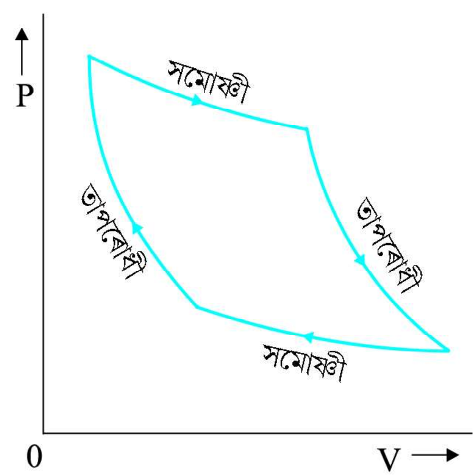
তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়া

তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াত প্ৰণালী এটাই তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ সৈতে তাপৰ আদান-প্ৰদান কৰিব নোৱাৰে, আৰু সেয়ে প্ৰণালীটোৱে শোষণ আৰু বৰ্জন কৰা তাপৰ পৰিমাণ শূন্য। সমীকৰণ 12.1 ৰ পৰা দেখা যায় যে গেছে কাৰ্য কৰিলে তাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি হ্ৰাস পায়। (আভ্যন্তৰীণ শক্তি হ্ৰাস পোৱাৰ বাবে আদৰ্শ গেছৰ উষ্ণতাও হ্ৰাস পায়)। তাপৰোধী পৰিৱৰ্তন ঘটা আদৰ্শ গেছ এবিধে মানি চলা অৱস্থাৰ সমীকৰণটো হ'ল (সমীকৰণটোৰ বিতং গণনাৰ স্তৰবোৰ তোমালোকে পদাৰ্থ বিজ্ঞানৰ উচ্চতৰ পাঠ্যক্ৰমত শিকিবা)

$$PV^{\gamma} = \text{ধ্ৰুৱক} \quad (12.13)$$

ইয়াত γ হ'ল স্থিৰ চাপ আৰু স্থিৰ আয়তনত গেছবিধৰ আপেক্ষিক তাপৰ (ম'লাৰ বা সাধাৰণ) অনুপাত—

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$



চিত্ৰ 12.8 *আদৰ্শ গেছৰ সমোষ্ণী আৰু তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াৰ P–V লেখ।*

তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াৰে যদি এবিধ গেছৰ অৱস্থা (P_1, V_1)ৰ পৰা (P_2, V_2) লৈ সলনি হয় তেন্তে

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma} \quad (12.14)$$

12.8 নম্বৰ চিত্ৰত আদৰ্শ গেছ এটাৰ দুডাল সমোষ্ণী ৰেখা সংযোগী দুটা তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়া P–V লেখচিত্ৰৰ সহায়ত দেখুওৱা হৈছে।

পূৰ্বৰ দৰে আমি এইক্ষেত্ৰতো আদৰ্শ গেছ এবিধৰ (P_1, V_1, T_1) অৱস্থাৰ পৰা (P_2, V_2, T_2) অৱস্থালৈ তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াৰে পৰিৱৰ্তন ঘটিলে সি কৰা কাৰ্যৰ মান গণনা কৰিব পাৰোঁ।

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV$$

$$= \text{ধ্ৰুৱক} \times \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{\gamma}}$$

$$= \text{ধ্ৰুৱক} \times \left. \frac{V^{-\gamma+1}}{1-\gamma} \right|_{V_1}^{V_2}$$

$$= \frac{\text{ধ্ৰুৱক}}{(1-\gamma)} \times \left[\frac{1}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \right] \quad (12.15)$$

সমীকৰণ (12.14)ৰ পৰা দেখা যায় যে ওপৰোক্ত ধ্ৰুৱকটোৰ মান $P_1V_1^{\gamma}$ অথবা $P_2V_2^{\gamma}$ হয়। সেয়ে

$$W = \frac{1}{1-\gamma} \left[\frac{P_2 V_2^{\gamma}}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{P_1 V_1^{\gamma}}{V_1^{\gamma-1}} \right]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma} \left[P_2 V_2 - P_1 V_1 \right] = \frac{\mu R (T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \quad (12.16)$$

সমীকৰণ (12.16)ৰ পৰা দেখা যায় যে গেছবিধে যদি কাৰ্য কৰে ($W > 0$) তেন্তে $T_2 < T_1$ হ'ব। আনহাতে গেছবিধৰ ওপৰত যদি কাৰ্য কৰা হয় ($W < 0$) তেন্তে $T_2 > T_1$, অৰ্থাৎ গেছবিধৰ উষ্ণতা বৃদ্ধি পাব।

সমায়তনী প্ৰক্ৰিয়া

সমায়তনী প্ৰক্ৰিয়াত V স্থিৰ থাকে। সেয়ে, এনে প্ৰক্ৰিয়াত গেছ এবিধে কৰা কাৰ্যৰ মান শূন্য। সমীকৰণ (12.1)ৰ পৰা দেখা যায় যে এনেক্ষেত্ৰত গেছবিধে শোষণ কৰা তাপ সম্পূৰ্ণৰূপে ব্যৱহাৰ হয় তাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি সলনি কৰাত, অৰ্থাৎ তাৰ উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তন ঘটাত। এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ তাপৰ বাবে গেছবিধৰ উষ্ণতা কি পৰিমাণে সলনি হ'ব সেয়া নিৰ্ভৰ কৰিব স্থিৰ আয়তনত গেছবিধৰ আপেক্ষিক তাপৰ ওপৰত।

সমচাপ প্ৰক্ৰিয়া (Constant pressure process)

সমচাপ প্ৰক্ৰিয়াত P স্থিৰে থাকে। এইক্ষেত্ৰত গেছবিধে কৰা কাৰ্য হ'ব

$$W = P(V_2 - V_1) = \mu R (T_2 - T_1) \quad (12.17)$$

যিহেতু গেছবিধৰ উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তন হয়, সেয়ে তাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰো পৰিৱৰ্তন ঘটিব। শোষণ কৰা তাপ আংশিকভাৱে ব্যৱহাৰ হ'ব গেছবিধৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি বৃদ্ধি কৰাত, আৰু আংশিকভাৱে গেছবিধে কাৰ্য কৰাত। এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ তাপৰ বাবে গেছবিধৰ উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তনৰ মান নিৰ্ভৰ কৰিব স্থিৰ চাপত তাৰ আপেক্ষিক তাপৰ ওপৰত।

চক্ৰীয় প্ৰক্ৰিয়া (Cyclic process)

যি প্ৰক্ৰিয়াত প্ৰণালী এটাই পুনৰ তাৰ আগৰ অৱস্থালৈ ঘূৰি আহে তাক চক্ৰীয় প্ৰক্ৰিয়া (cyclic process) বোলে। আভ্যন্তৰীণ শক্তি যিহেতু এবিধ অৱস্থাসূচক চলক, সেয়ে চক্ৰীয় প্ৰক্ৰিয়াত $\Delta U = 0$। সমীকৰণ (12.1)ৰ পৰা দেখা যায় যে এইক্ষেত্ৰত প্ৰণালী এটাই শোষণ কৰা তাপ সি কৰা কাৰ্যৰ সমান।

12.9 তাপ ইঞ্জিন (Heat engines)

যি ব্যৱস্থাৰে প্ৰণালী এটাৰ চক্ৰীয় পৰিৱৰ্তন ঘটাই তাৰ শক্তিৰ পৰা কাৰ্য উৎপন্ন কৰা হয় তাকেই তাপ ইঞ্জিন বোলে।

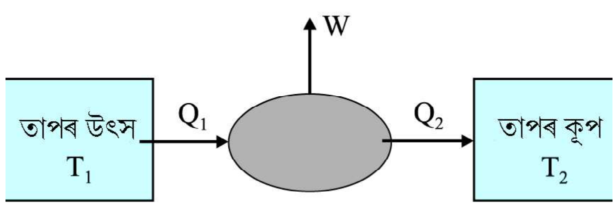
তাপ ইঞ্জিন এটাৰ আৰ্হিমূলক মুখ্য অংশ তিনিটা চিত্ৰ (12. 9)ত দেখুওৱা হৈছে।

(1) তাপ ইঞ্জিনত কাৰ্য সম্পন্ন কৰিবলৈ এটা প্ৰণালী লোৱা হয়। ইয়াক ইঞ্জিনৰ **কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থ** (working substance) বোলা হয়। উদাহৰণস্বৰূপে পেট্ৰ'ল বা ডিজেল ইঞ্জিনত ইন্ধনৰ বাষ্প আৰু বায়ুৰ মিশ্ৰণটো, অথবা ভাপ ইঞ্জিনত ভাপ হ'ল কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থ।

(2) কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থবিধৰ চক্ৰীয় পৰিৱৰ্তন ঘটে, আৰু এই পৰিৱৰ্তন একাধিক প্ৰক্ৰিয়াৰ সমষ্টি। এই প্ৰক্ৰিয়াৰ কোনো এটা বিশেষ স্তৰত পদাৰ্থবিধে এক উচ্চ উষ্ণতা T_1ত থকা এক বাহ্যিক তাপৰ উৎসৰ পৰা এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ তাপ Q_1 শোষণ কৰে।

(3) চক্ৰটোৰ আন কোনোবা এটা স্তৰত পদাৰ্থবিধে এক নিম্নতৰ উষ্ণতা T_2ত থকা তাপৰ এক বাহ্যিক কুঁপলৈ (sink) এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ তাপ Q_2 বৰ্জন কৰে।

(4) চক্ৰ এটাত প্ৰণালীটোৱে কৰা কাৰ্য (W) এক বিশেষ ব্যৱস্থাৰ দ্বাৰা (যেনে ঃ কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থবিধ চুঙা এটাত ল'ব পাৰি। চুঙাটোত যদি গতিক্ষম পিষ্টন এটা লগাই লোৱা হয় তেন্তে পিষ্টনৰ যান্ত্ৰিক শক্তি ধুৰা এডালৰ সহায়ত মটৰগাড়ীৰ চকালৈ নিব পাৰি) তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকলৈ স্থানান্তৰ কৰা হয়।



চিত্ৰ 12.9 *তাপ ইঞ্জিন এটাৰ আৰ্হিমূলক ৰূপ। T_1 উষ্ণতাত থকা উৎস এটা পৰা ইঞ্জিনটোৱে Q_1 তাপ শোষণ কৰে, নিম্নতৰ উষ্ণতা T_2 ত থকা কূপলৈ Q_2, তাপ বৰ্জন কৰে আৰু পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ ওপৰত কাৰ্য কৰে।*

প্ৰণালীটোৰ চক্ৰীয় প্ৰক্ৰিয়াটোৰ পুনৰাবৃত্তি ঘটাই প্ৰয়োজনীয় কাৰ্য আহৰণ কৰা হয়। তাপগতিবিজ্ঞানৰ জন্মৰ মূলতে হ'ল তাপ ইঞ্জিনৰ অধ্যয়ন। তাপ ইঞ্জিনৰ মূল বৈশিষ্ট্য হ'ল ইয়াৰ দক্ষতা (efficiency)। তাপ ইঞ্জিনৰ দক্ষতাৰ (η) সংজ্ঞা হ'ল $\eta = \frac{W}{Q_1}$ (12.18)

ইয়াত Q_1 হ'ল এটা সম্পূৰ্ণ চক্ৰত প্ৰণালীটোৱে শোষণ কৰা তাপ আৰু W হ'ল সেই চক্ৰটোত প্ৰণালীয়ে পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ ওপৰত কৰা কাৰ্য। চক্ৰ এটাত প্ৰণালীটোৱে পাৰিপাৰ্শ্বিকতালৈ Q পৰিমাণৰ তাপ বৰ্জনো কৰিব পাৰে। সেয়ে হ'লে তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধিৰ পৰা পোৱা যাব—

$$W = Q_1 - Q_2 \qquad (12.19)$$

অৰ্থাৎ

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \qquad (12.20)$$

যদি $Q_2 = 0$ হয় তেন্তে $\eta = 1$ অৰ্থাৎ, ইঞ্জিনটোৰ দক্ষতা 100% হ'ব, আৰু ই শোষণ কৰা তাপৰ আটাইখিনি কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰিব। মন কৰা যে তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধিয়ে অৰ্থাৎ, শক্তিৰ সংৰক্ষণশীলতাৰ বিধি অনুসৰি তেনে এটা ইঞ্জিন তৈয়াৰ কৰাত কোনো বাধা নাই। পিছে অভিজ্ঞতাই কয় যে $\eta = 1$ দক্ষতাৰ আদৰ্শ ইঞ্জিন প্ৰস্তুত কৰা অসম্ভৱ। প্ৰকৃত ইঞ্জিন এটাত হোৱা শক্তিৰ বিভিন্ন ধৰণৰ অপচয় ৰোধ কৰিলেও তেনে এটা আদৰ্শ ইঞ্জিন তৈয়াৰ কৰা অসম্ভৱ। দেখা যায় যে প্ৰকৃতিৰ এক স্বতন্ত্ৰ বিধিয়ে তাপ ইঞ্জিনৰ দক্ষতাৰ এক সৰ্বোচ্চ সীমা বান্ধি দিয়ে। এই বিধিটোক **তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধি** (Second Law of Thermodynamics) বোলে (12.11অনুচ্ছেদ চোৱা)।

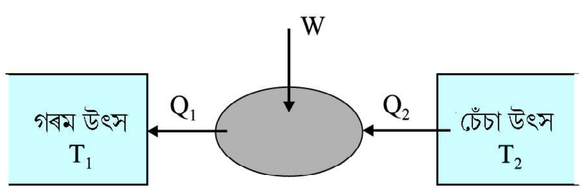
ভিন ভিন তাপ ইঞ্জিনৰ বাবে তাপৰ পৰা কাৰ্য আহৰণ কৰা পদ্ধতিও ভিন ভিন। এই পদ্ধতি মূলতে

পিছে দুই ধৰণৰহে। এবিধত প্ৰণালীটোক (প্ৰণালীটো এবিধ গেছ বা কেবাবিধ গেছৰ এটা মিশ্ৰণো হ'ব পাৰে) এটা বাহ্যিক চুল্লীৰ (furnace) দ্বাৰা উত্তপ্ত কৰি লোৱা হয়। উদাহৰণ ঃ ভাপ ইঞ্জিন। আনটো পদ্ধতিত প্ৰণালীৰ ভিতৰতে একোটা তাপবৰ্জী (exothermic) ৰাসায়নিক বিক্ৰিয়া ঘটাই প্ৰণালীটো উত্তপ্ত কৰি তোলা হয়। উদাহৰণ ঃ অন্তৰ্দহন ইঞ্জিন (internal combustion engine)। ইঞ্জিনভেদে একোটা চক্ৰৰ পৰ্যায়সমূহো ভিন ভিন। সেয়ে হ'লেও তাপ ইঞ্জিন সম্পৰ্কে এটা সমূহীয়া আলোচনা কৰিবলৈ সিহঁতৰ অপৰিহাৰ্য অংশবোৰ তলত দিয়া ধৰণে থাকে বুলি ভাবি ল'ব পাৰি।

12.10 ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ আৰু তাপ পাম্প (Refrigerators and heat pumps)

শীতক যন্ত্ৰ বা ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ হ'ল তাপ ইঞ্জিনৰ ঠিক বিপৰীত ধৰণৰ যন্ত্ৰ। ইয়াত কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থই T_2, উষ্ণতাত থকা চেঁচা কূপ এটাৰ পৰা Q_2 তাপ শোষণ কৰে। তাৰপাছত পদাৰ্থবিধৰ ওপৰত W বাহ্যিক পৰিমাণৰ কাৰ্য কৰা হয়, আৰু শেষত পদাৰ্থবিধে Q_1 পৰিমাণৰ তাপ T_1 উষ্ণতাত থকা তাপৰ উৎস এটাত বৰ্জন কৰে (চিত্ৰ 12.10)।

তাপ পাম্প এটা ৰেফ্ৰিজাৰেটৰৰ সৈতে একেই। যন্ত্ৰটো কি উদ্দেশ্যত ব্যৱহাৰ হয় তাৰ ওপৰত ভিত্তি কৰি কেতিয়াবা ইয়াক তাপ পাম্প আৰু কেতিয়াবা ইয়াক ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ বুলি কোৱা হয়। যদি যন্ত্ৰটোৱে কোনো এটা অঞ্চল, (যেনে ঃ প্ৰকোষ্ঠ এটাৰ ভিতৰ)



চিত্ৰ 12.10 *ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ বা তাপ পাম্পৰ আৰ্হিমূলক ছবি।*

চেঁচা কৰে আৰু যদি পাৰিপাৰ্শ্বিকতাই তাপৰ উৎস হয়, তেন্তে যন্ত্ৰটোক ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ বুলি কোৱা হয়। আনহাতে যন্ত্ৰটোৱে যদি কোনো এটা অঞ্চলত তাপ যোগান ধৰা হয় (বায়ুমণ্ডল চেঁচা হৈ থকা অৱস্থাত ঘৰৰ ভিতৰখন উষ্ণ কৰি ৰাখিবলৈ তাপ যোগান ধৰা হয়), তেন্তে যন্ত্ৰটোক তাপ পাম্প বুলি কোৱা হয়।

ৰেফ্ৰিজাৰেটৰৰ ক্ষেত্ৰত কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থবিধে (পদাৰ্থবিধ সাধাৰণতে গেছ হয়) তলত দিয়া স্তৰকেইটা অতিক্ৰম কৰে—

(a) গেছবিধ উচ্চ চাপৰ পৰা হঠাৎ নিম্ন চাপ অৱস্থালৈ প্ৰসাৰিত হয়। এই প্ৰসাৰণৰ ফলত গেছবিধ বাষ্প আৰু জুলীয়া পদাৰ্থৰ এটা মিশ্ৰণ হৈ পৰে

(b) যিটো অঞ্চলক চেঁচা কৰিব লাগে সেই অঞ্চলটোৰ পৰা শীতল তৰল পদাৰ্থবিধে তাপ শোষণ কৰে। ফলত তৰল পদাৰ্থবিধ বাষ্পলৈ পৰিৱৰ্তিত হয়।

(c) বাষ্পৰ ওপৰত কৰা বাহ্যিক কাৰ্যৰ ফলত বাষ্পখিনিৰ উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়, আৰু

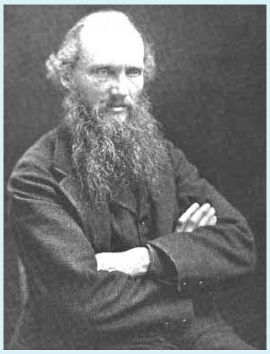
(d) বাষ্পখিনিয়ে পাৰিপাৰ্শ্বিকতালৈ তাপ বৰ্জন কৰে। ইয়াৰ ফলত বাষ্পখিনি পুনৰ আগৰ অৱস্থালৈ ঘূৰি আহে আৰু গেছবিধৰ এটা চক্ৰ সম্পূৰ্ণ হয়।

ৰেফ্ৰিজাৰেটৰৰ সম্পাদন গুণাংক (coefficient of performance) α ৰ সংজ্ঞা হ'ল

$$\alpha = \frac{Q_2}{W} \qquad (12.21)$$

ইয়াত Q_2 হ'ল চেঁচা অঞ্চলটোৰ পৰা শোষণ কৰা তাপ আৰু W হ'ল প্ৰণালীৰ, অৰ্থাৎ শীতলকৰ ওপৰত কৰা কাৰ্য। (তাপ পাম্পৰ ক্ষেত্ৰত α ৰ সংজ্ঞা হ'ল $\frac{Q_1}{W}$ ।

তাপগতিবিজ্ঞানৰ বাটকটীয়া



লৰ্ড কেলভিন (উইলিয়াম টমছন) Lord Kelvin (William Thomson) (1824-1907), জন্ম আয়াৰলেণ্ডৰ বেলফাষ্টত। তেওঁ ঊনৈশ শতিকাৰ প্ৰখ্যাত ব্ৰিটিছ বিজ্ঞানীসকলৰ ভিতৰৰ এজন। জেমছ জুল (James Joule, 1818-1889), জুলিয়াছ মেয়াৰ (Julius Mayer, 1814-1878) আৰু হাৰমান হেমহ'জৰ (Hermann Helmholtz, 1821-1894) গৱেষণাৰ ভিত্তিত উদ্ভাৱন হোৱা শক্তিৰ সংৰক্ষণৰ বিধি প্ৰণয়নত উল্লেখযোগ্য অৱদান আগবঢ়ায়। তেওঁ জুলৰ সৈতে লগ লাগি তথাকথিত জুল-টমছন প্ৰভাৱ (Joule-Thomson effect) আৱিষ্কাৰ কৰে। এই প্ৰভাৱত এবিধ গেছক নিম্ন চাপ অঞ্চললৈ প্ৰসাৰিত হ'বলৈ দিলে গেছবিধৰ উষ্ণতা হ্ৰাস পায়। পৰম শূন্য উষ্ণতাৰ ধাৰণাটো তেঁৱেই উদ্ভাৱন কৰে, আৰু পৰম উষ্ণতাৰ স্কেল নামৰ নতুন স্কেল এটাৰ আভাস দিয়ে। সেয়ে, আজি তেওঁৰ সন্মানাৰ্থে এইবিধ স্কেলক কেলভিন স্কেল বোলে। ছাডি কাৰ্ন'টৰ (1796-1832) গৱেষণাৰ ওপৰত ভিত্তি কৰি তেওঁ তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধিৰ এটা ৰূপ উদ্ভাৱন কৰে। টমছন এগৰাকী যথেষ্ট কুশলী পদাৰ্থ বিজ্ঞানী আছিল— তাপগতিবিজ্ঞানৰ উপৰি তেওঁ বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব আৰু জল বল বিজ্ঞানতো উল্লেখযোগ্য অৱদান দি থৈ গৈছে।

ৰুড'লফ ক্লছিয়াছ (Rudolf Clausius) (1822-1888)), জন্ম প'লেণ্ডত। তেওঁকেই তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধিৰ উদ্ভাৱক বুলি গণ্য কৰা হয়। কাৰ্ন'ট আৰু টমছনৰ গৱেষণাৰ আঁত ধৰি ক্ল'ছিয়াছে এণ্ট্ৰ'পি (entropy) নামৰ পদাৰ্থবিজ্ঞানৰ অতিশয় গুৰুত্বপূৰ্ণ ধাৰণাটোত উপনীত হয়। ইয়াৰ যোগে তেওঁ তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধিক এক মৌলিক ৰূপত উত্থাপন কৰে। তেঁৱেই লগতে দেখুৱাইছিল যে অন্তৰিত বা বিযুক্ত (isolated) প্ৰণালীৰ এণ্ট্ৰ'পি কেতিয়াও হ্ৰাস নহয়। ক্ল'ছিয়াছে গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বতো উল্লেখযোগ্য অৱদান আগবঢ়াইছিল আৰু তেঁৱেই পোনপ্ৰথমে আণৱিক আকাৰ, অণুৰ বেগ, গড় মুক্ত পথ ইত্যাদিৰ নিৰ্ভৰযোগ্য মান নিৰূপণ কৰি উলিয়াইছিল।

মন কৰিবলগীয়া যে সংজ্ঞা অনুসৰি ηৰ মান কাহানিও একতকৈ ডাঙৰ হ'ব নোৱাৰে, কিন্তু α একতকৈ ডাঙৰ হ'ব পাৰে। শক্তিৰ সংৰক্ষণশীলতাৰ বিধিৰ পৰা পোৱা যায় যে উৎসলৈ বৰ্জন কৰা তাপৰ মান হয়

$$Q_1 = W + Q_2$$

অৰ্থাৎ $$\alpha = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \qquad (12.22)$$

তাপ ইঞ্জিনত এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ তাপৰ আটাইখিনিক কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰিব নোৱাৰি। আনহাতে ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ এটাই বাহ্যিক কাৰ্যৰ সহায় নোলোৱাকৈ শীতলীকৰণ কৰিব নোৱাৰে। অৰ্থাৎ সমীকৰণ (12.22)ত দিয়া সম্পাদন গুণাংকৰ মান অসীম হ'ব নোৱাৰে।

12.11 তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধি (Second Law of Thermodynamics)

তাপগতি বিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধিটো হ'ল শক্তিৰ সংৰক্ষণশীলতাৰ বিধিৰ এটা ৰূপহে। অভিজ্ঞতাৰ পৰা দেখা যায় যে এনে বহু প্ৰক্ৰিয়া আমি ভাবি উলিয়াব পাৰোঁ যিবোৰ তাপগতি বিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধিয়ে সম্ভৱপৰ বুলি ক'লেও পিছে বাস্তৱত দেখা নাযায়। উদাহৰণ ঃ

মেজৰ ওপৰত থোৱা পুথি এখন নিজে নিজে ওপৰলৈ জাপ মাৰি উঠি যোৱা দেখা নাযায়। কেৱল শক্তিৰ ৰক্ষণশীলতাৰ বিবেচনা কৰিলে এই ঘটনাটো ঘটাত কোনো বাধা নাই। এই প্ৰক্ৰিয়াটোত পুথিখনে মেজৰ পৰা তাপ শক্তি শোষণ কৰি তাক যান্ত্ৰিক শক্তিলৈ ৰূপান্তৰিত কৰিব পাৰিব লাগে। সেই যান্ত্ৰিক শক্তিয়ে পুথিখন এনে এক উচ্চতালৈ উঠাব লাগে য'ত ইয়াৰ স্থিতিশক্তি ই লাভ কৰা যান্ত্ৰিক শক্তিৰ সমান হয়। আনহাতে, মেজখনে তাপ শক্তি হেৰোৱাৰ বাবে তাৰ নিজা উষ্ণতা হ্ৰাস হ'ব লাগে। প্ৰক্ৰিয়াটোত প্ৰথম বিধি ভংগ হোৱা নাই। সেয়ে হ'লেও এনে এটা পৰিঘটনা বাস্তৱত আমি নেদেখোঁ। এই উদাহৰণটোৰ পৰা এটা কথা পৰিষ্কাৰ হৈ পৰে যে এনে এটা প্ৰক্ৰিয়া শক্তিৰ সংৰক্ষণৰ বিধিৰ পৰা সম্ভৱপৰ হ'লেও প্ৰকৃতিৰ আন এটা অতিৰিক্ত মৌলিক বিধি নিশ্চয় আছে যি এই ঘটনাটো সংঘটিত হ'বলৈ নিদিয়ে। প্ৰথম বিধিয়ে সম্ভৱপৰ বুলি স্বীকৃতি দিয়া প্ৰক্ৰিয়াবোৰৰ ওপৰত যিটো বিধিয়ে বাধা আৰোপ কৰে তাক তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধি (Second Law of Thermodynamics) বোলে।

তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধিয়ে তাপ ইঞ্জিনৰ দক্ষতা আৰু ৰেফ্ৰিজাৰেটৰৰ সম্পাদন গুণাংকৰ সৰ্বোচ্চ সীমা নিৰূপণ কৰে। সহজ ভাষাত ক'বলৈ গ'লে এই বিধিটোৱে কয় যে তাপ ইঞ্জিনৰ দক্ষতাৰ মান কেতিয়াও এক হ'ব নোৱাৰে। সমীকৰণ (12.20)ৰ মতে ইয়াৰ অৰ্থ এয়ে যে কোনো তাপ বৰ্জন নকৰা বিধৰ তাপ ইঞ্জিন থাকিব নোৱাৰে। ৰেফ্ৰিজাৰেটৰৰ ক্ষেত্ৰত দ্বিতীয় বিধিয়ে কয় যে সম্পাদন গুণাংকৰ মান অসীম হ'ব নোৱাৰে। সমীকৰণ (12.21)ৰ মতে ইয়াৰ অৰ্থ হ'ল বাহ্যিক কাৰ্য (W), অৰ্থাৎ বাহ্যিক শক্তি নোহোৱাকৈ ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ এটা চলিব নোৱাৰে। আমি ওপৰত আগবঢ়োৱা পৰ্যবেক্ষণবোৰৰ মূল কথাখিনি দুটা উক্তিৰ সহায়ত প্ৰকাশ কৰিব পাৰো। উক্তি দুটা তলত দিয়া হৈছে। তাৰ এটা হ'ল কেলভিন (Kelvin) আৰু আনটো প্লাংকে (Planck) আগবঢ়োৱা উক্তি। এই উক্তিটোৱে কয় যে আদৰ্শ তাপ ইঞ্জিন তৈয়াৰ কৰা সম্ভৱ নহয়। আনটো হ'ল ক্ল'ছিয়াছৰ (Clausius) উক্তি। ইয়াৰ মতে আদৰ্শ ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ বা তাপ পাম্প প্ৰস্তুত কৰা সম্ভৱ নহয়। এই দুয়োটা উক্তি তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধিটোৰ দুটা ভিন্ন অথচ সমাৰ্থক ৰূপ।

তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধি

কেলভিন-প্লাংকৰ উক্তি

প্ৰকৃততে এনে কোনো প্ৰক্ৰিয়া সম্ভৱপৰ নহয় যাৰ একমাত্ৰ পৰিণতি হ'ল উৎসৰ পৰা তাপ শোষণ কৰা আৰু শোষিত তাপক সম্পূৰ্ণৰূপে কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰা।

ক্ল'ছিয়াছৰ উক্তি

প্ৰকৃততে এনে কোনো প্ৰক্ৰিয়া সম্ভৱপৰ নহয় যাৰ একমাত্ৰ পৰিণতি হ'ল শীতলতৰ বস্তু এটাৰ পৰা তাপ উষ্ণতৰ বস্তু এটালৈ প্ৰেৰণ কৰা।

দেখুৱাব পাৰি যে দুয়োটা উক্তি আচলতে সম্পূৰ্ণ সমাৰ্থক।

12.12 পৰাৱৰ্তনীয় আৰু অপৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া (Reversible and irreversible processes)

ধৰা হওঁক কোনো এক বিশেষ প্ৰক্ৰিয়াৰ যোগে তাপগতিযুক্ত প্ৰণালী এটাই তাৰ প্ৰাৰম্ভিক অৱস্থা i ৰ পৰা অন্তিম অৱস্থা f লৈ যায়। প্ৰক্ৰিয়াটোত প্ৰণালীটোৱে Q পৰিমাণৰ তাপ শোষণ কৰে আৰু W পৰিমাণৰ কাৰ্য কৰে। প্ৰক্ৰিয়াটো আমি বিপৰীত দিশে পৰিচালিত কৰিব পাৰোঁ নেকি, আৰু প্ৰণালীটোৰ লগতে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ কোনোটোতেই কোনো আন প্ৰভাৱ নেপেলোৱাকৈ সিহঁতৰ প্ৰাৰম্ভিক

অৱস্থালৈ ঘূৰাই লৈ আনিব পাৰোঁ নেকি? অভিজ্ঞতাৰ পৰা দেখা যায় যে প্ৰকৃতিৰ অধিকাংশ প্ৰক্ৰিয়াতেই এনে কৰা সম্ভৱপৰ নহয়। যিবোৰ প্ৰক্ৰিয়া প্ৰকৃতিত আপোনা আপুনি ঘটে সেইবোৰ অপৰাৱৰ্তনীয় (irreversible) প্ৰক্ৰিয়া। এনে প্ৰক্ৰিয়াৰ কেইবাটাও উদাহৰণ আমি দিব পাৰোঁ। চৌকাত বহুৱাই ৰখা পাত্ৰ এটাৰ তলিখন তাৰ অন্য অংশৰ তুলনাত অধিক উত্তপ্ত। জুইৰ পৰা নমাই অনাৰ পাছত পাত্ৰটোৰ তলিৰ পৰা অন্য অংশবোৰলৈ তাপ প্ৰৱাহিত হয় আৰু পাত্ৰটোৰ আটাইবোৰ অংশই এটা সমূহীয়া উষ্ণতা লাভ কৰে (সময় যোৱাৰ লগে লগে পাত্ৰটোৰ উষ্ণতা হ্ৰাস পায় আৰু অৱশেষত ইয়াৰ উষ্ণতা পাৰিপাৰ্শ্বিকৰ উষ্ণতাৰ সমান হৈ পৰে)। এই গোটেই প্ৰক্ৰিয়াটো পিছে বিপৰীত দিশে নচলে ঃ পাত্ৰটোৰ কোনো এটা অংশ নিজে নিজে শীতল হৈ তলিখন তপতাই নেপেলায়। যদি তেনে ঘটে, তেন্তে ই তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধি উলংঘা কৰিব। গেছ এবিধৰ মুক্ত প্ৰসাৰণৰ প্ৰক্ৰিয়াটোও অপৰাৱৰ্তনীয়। পেট্ৰ'ল আৰু বায়ুৰ মিশ্ৰণ এটাত স্ফুলিংগই ঘটোৱা দহন বিক্ৰিয়া এটা বিপৰীত দিশে পৰিচালিত কৰাব নোৱাৰি। ৰন্ধন গেছৰ চিলিণ্ডাৰৰ পৰা ঘটনাক্ৰমে বহিৰ্গমন ঘটা গেছ গোটেই ৰান্ধনিশালটোত বিয়পি পৰে। গেছৰ এই বিচ্ছুৰণ প্ৰক্ৰিয়াটো কেতিয়াও নিজে নিজে বিপৰীতমুখে চলি ব্যাপন ঘটা গেছখিনি চিলিণ্ডাৰত নোসোমায়হি। তাপগ্ৰাহী বস্তু এটাৰ তাপীয় সংস্পৰ্শত থকা জুলীয়া পদাৰ্থ এবিধ লৰচৰ কৰি থাকিলে ব্যৱহৃত তাপ কাৰ্যলৈ পৰিৱৰ্তিত হ'ব আৰু বস্তুটোৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি বৃদ্ধি পাব। এই প্ৰক্ৰিয়াটো সম্পূৰ্ণৰূপে বিপৰীত মুখে পৰিচালিত কৰিব নোৱাৰি, অন্যথাই ই তাপ সম্পূৰ্ণৰূপে কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰ ঘটাব আৰু তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধি উলংঘা হ'ব। অপৰাৱৰ্তনীয়তা (irreversibility) প্ৰকৃতিৰ এক নিয়মহে, ব্যতিক্ৰম নহয়।

অপৰাৱৰ্তনীয়তা মূলতঃ দুটা কাৰণৰ বাবে হয়। এটা হ'ল বহুতো প্ৰক্ৰিয়াত (যেনে— গেছৰ মুক্ত প্ৰসাৰণ, অথবা বিস্ফোৰক ৰাসায়নিক বিক্ৰিয়া) প্ৰণালী এটাই অসাম্য অৱস্থা এটা লাভ কৰে। আনটো কাৰণ হ'ল বেছিভাগ প্ৰক্ৰিয়াতে ঘৰ্ষণ, সান্দ্ৰতা (viscosity) আৰু আন কিছুমান শক্তিক্ষয়ী (dissipative) প্ৰভাৱ জড়িত হৈ থাকে। (যেনে— গতিশীল বস্তু এটাই তাৰ যান্ত্ৰিক শক্তি হেৰুৱাই এটা সময়ত ৰৈ যায়, আৰু বস্তুটোৱে হেৰুওৱা শক্তিখিনিয়ে মজিয়া আৰু বস্তুটোৰ তাপশক্তিৰ ৰূপ লয়; জুলীয়া পদাৰ্থৰ মাজত ঘূৰি থকা চকৰি এটা কিছু সময়ৰ পাছত ৰৈ যায়। এইক্ষেত্ৰত জুলীয়া পদাৰ্থবিধৰ সান্দ্ৰতাৰ বাবে চকৰিৰ যান্ত্ৰিক শক্তি নোহোৱা হৈ গৈ সেই শক্তি জুলীয়া পদাৰ্থবিধৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ ৰূপত আত্মপ্ৰকাশ কৰে।) প্ৰকৃতিৰ সকলো ক্ষেত্ৰতে শক্তিক্ষয়ী বলৰ উপস্থিতি থাকে। এই বলবোৰৰ প্ৰভাৱ হ্ৰাস কৰিব পাৰি যদিও ইহঁতক সম্পূৰ্ণৰূপে আঁতৰাই পেলাব নোৱাৰি। সেয়ে, আমি দেখা প্ৰায়বোৰ প্ৰক্ৰিয়াই অপৰাৱৰ্তনীয়।

তাপগতিৰ প্ৰক্ৰিয়া এটা (i অৱস্থা $\rightarrow$ f অৱস্থা) বিপৰীত দিশে পৰিচালিত কৰি প্ৰণালীটোৰ লগতে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাকো সিহঁতৰ পূৰ্বৰ অৱস্থাত উপনীত কৰাব পাৰি, আৰু যদি ইয়াৰ ফলত বিশ্বব্ৰহ্মাণ্ডৰ ক'তো আন কোনো প্ৰভাৱ নপৰে, তেন্তে তেনে প্ৰক্ৰিয়াক পৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া (reversible process) বোলে। এই আলোচনাটোৰ পৰা ধৰিব পাৰি যে পৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া এটা বাস্তৱত দেখা নাযায়— ই এক ধাৰণাহে। তদুপৰি প্ৰক্ৰিয়া এটা সাম্যপ্ৰায় অৱস্থাত (প্ৰক্ৰিয়াৰ প্ৰতিটো স্তৰতে প্ৰণালীটো পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ সৈতে সাম্য অৱস্থাত থকা বিধৰ হ'লে) থাকিলেহে, আৰু লগতে প্ৰক্ৰিয়াটোত কোনো ধৰণৰ শক্তিশালী বল জড়িত নাথাকিলেহে প্ৰক্ৰিয়াটো পৰাৱৰ্তনীয় হ'ব পাৰে।

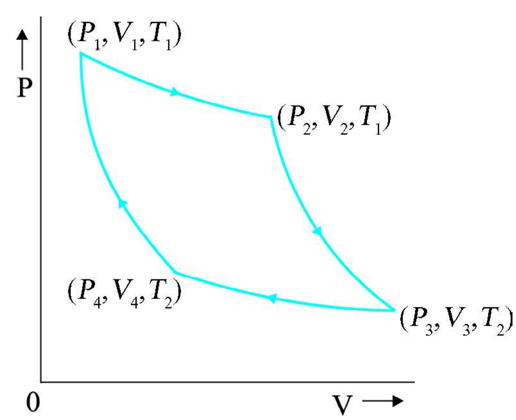
উদাহৰণস্বৰূপে ঘৰ্ষণহীন আৰু গতিক্ষম পিষ্টন লগোৱা চুঙা এটাত লোৱা আদৰ্শ গেছ এবিধৰ সাম্যপ্ৰায় সমোষ্ণী প্ৰসাৰণ এবিধ পৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া।

তাপগতিবিজ্ঞানত পৰাৱৰ্তনীয়তাৰ ধাৰণাটো ইমান গুৰুত্বপূৰ্ণ কিয়? আগৰ আলোচনাত আমি দেখিছোঁ যে তাপক কিমান দক্ষতাৰে কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰা হয় সেয়া হ'ল তাপ গতি বিজ্ঞানৰ এটা প্ৰধান সমস্যা। তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধিৰ মতে 100% দক্ষতাৰ ইঞ্জিন, অৰ্থাৎ আদৰ্শ তাপ ইঞ্জিন তৈয়াৰ কৰা অসম্ভৱ। পিছে T_1 আৰু T_2 দুই উষ্ণতাৰ অন্তৰাল ব্যৱহাৰ কৰা তাপ ইঞ্জিন এটাৰ সৰ্বোচ্চ দক্ষতা কিমান হ'ব পাৰে? দেখা যায় যে আদৰ্শ পৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়াৰ সহায়ত চালিত তাপ ইঞ্জিন এটাৰ দক্ষতা সৰ্বোচ্চ। আন আটাইবোৰ ইঞ্জিনৰ য'তেই অপৰাৱৰ্তনীয়তা জড়িত হৈ আছে (আটাইবোৰ ব্যৱহাৰিক ইঞ্জিনতেই অপৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া জড়িত হৈ থাকে), সেইবোৰ ইঞ্জিনৰ দক্ষতা পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিনৰ দক্ষতাতকৈ কম।

12.13 কাৰ্নট ইঞ্জিন (Carnot engine)

ধৰা হওঁক আমি T_1 উচ্চতৰ উষ্ণতাত তাপৰ এটা উৎস লৈছোঁ আৰু T_2 নিম্নতৰ উষ্ণতাত তাপৰ এটা কূপ লৈছোঁ। উষ্ণতাৰ এই দুই সীমাৰ মাজত তাপ ইঞ্জিন এটাৰ সম্ভাব্য সৰ্বোচ্চ দক্ষতা কিমান হ'ব পাৰে, আৰু সৰ্বোচ্চ দক্ষতা পাবলৈ ইঞ্জিনটোৰ কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থবিধ কি ধৰণৰ প্ৰক্ৰিয়াৰ মাজেৰে পাৰ হৈ যাব লাগিব? এই প্ৰশ্নটো *1824* চনত ছাডি কাৰ্নট (Sadi Carnot) নামৰ ফৰাচী প্ৰযুক্তিবিদ এজনৰ মনত উদয় হৈছিল। যদিও তাপ আৰু তাপগতিবিজ্ঞানৰ মূল ধাৰণাসমূহ সেই সময়ত প্ৰতিষ্ঠিত হোৱা নাছিল, কাৰ্ণটে কিন্তু প্ৰশ্নটোৰ শুদ্ধ উত্তৰ উলিয়াবলৈ সক্ষম হৈছিল।

আমি যদি দুই উষ্ণতাৰ মাজত কাৰ্য কৰি থকা আদৰ্শ ইঞ্জিনৰ কথা কওঁ তেন্তে ধৰি ল'ব লাগিব যে ই পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন। আগতে উল্লেখ কৰা হৈছে যে অপৰাৱৰ্তনীয়তাৰ সৈতে শক্তিক্ষয়ী বল জড়িত থাকে। সেয়ে, তেনে ইঞ্জিনৰ দক্ষতা কম। যদি প্ৰক্ৰিয়া এটা সাম্যপ্ৰায় আৰু শক্তিক্ষয়হীন হয়, তেন্তে ই এক পৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া। প্ৰণালী এটা আৰু তাপৰ উৎস অথবা প্ৰণালী আৰু তাপৰ কূপৰ মাজৰ উষ্ণতাৰ পাৰ্থক্য যদি সসীম (finite) হয়, তেন্তে প্ৰণালীটোৰে পাৰ হৈ যোৱা প্ৰক্ৰিয়াটো সাম্যপ্ৰায় হ'ব নোৱাৰে। ইয়াৰ পৰা বুজা যায় যে দুই উষ্ণতাৰ মাজত চালিত পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন এটাই উৎসৰ পৰা সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াৰে তাপ গ্ৰহণ কৰিব লাগিব আৰু সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াৰে কূপত তাপ বৰ্জন কৰিব লাগিব। দেখা গ'ল যে পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিনৰ ক্ষেত্ৰত আমি দুটা স্তৰ নিৰ্ধাৰণ কৰিব পৰা হৈছোঁ। এটা হ'ল ইঞ্ধিনৰ কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থই সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াৰে তাপৰ উৎসৰ পৰা T_1 উচ্চতৰ উষ্ণতাত Q_1 তাপ গ্ৰহণ কৰিব লাগে, আৰু আনটো হ'ল পদাৰ্থখিনিয়ে T_2 নিম্নতৰ উষ্ণতাত কূপলৈ সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াৰে Q_2 তাপ বৰ্জন কৰিব লাগিব। চক্ৰটো সম্পূৰ্ণ কৰিবলৈ আমি প্ৰণালীটোক T_1 উষ্ণতাৰ পৰা প্ৰথমে T_2



চিত্ৰ 12.11 *আদৰ্শ গেছক কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থ হিচাপে লোৱা তাপ ইঞ্জিনৰ কাৰ্নট চক্ৰ।*

উষ্ণতালৈ নিব লাগিব আৰু তাৰপাছত তাক পুনৰ T_2 উষ্ণতাৰ পৰা T_1 উষ্ণতালৈ ওভোতাই নিব লাগিব। উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তন ঘটা এই পদ্ধতিটো কেনে ধৰণৰ হ'লে প্ৰক্ৰিয়াটো পৰাৱৰ্তনীয় হ'ব? অকণমান ভাবি চালেই আমি ধৰিব পাৰিম যে এই চৰ্ত সিদ্ধ কৰিবলৈ প্ৰক্ৰিয়াটো তাপৰোধী হ'ব লাগিব— তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াত প্ৰণালী আৰু পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত তাপৰ আদান-প্ৰদান নহয়। উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তন ঘটাবলৈ যদি আমি তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াৰ পৰিৱৰ্তে অন্য কোনো প্ৰক্ৰিয়াৰ সহায় লওঁ, (যেনে— সমায়তনী প্ৰক্ৰিয়া), তেন্তে প্ৰণালীটোৰ প্ৰতিটো স্তৰ সাম্যপ্ৰায় কৰি ৰাখি তাৰ উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তন ঘটাবলৈ T_2 আৰু T_1 উষ্ণতাৰ ব্যৱধানত আমি কেবাটাও তাপৰ উৎস আৰু কূপ ব্যৱহাৰ কৰিব লাগিব। (মন কৰিবা যে প্ৰক্ৰিয়া এটা সাম্যপ্ৰায় আৰু পৰাৱৰ্তনীয় হ'বলৈ প্ৰণালী আৰু তাপৰ উৎস বা কূপৰ মাজৰ উষ্ণতাৰ পাৰ্থক্য সসীম হ'ব নোৱাৰে।) যিহেতু আমি লোৱা ইঞ্জিনটোৱে মাত্ৰ দুটা উষ্ণতাৰ মাজত চলিব লাগিব, আৰু লগতে যিহেতু ই এটা পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন, সেয়ে ইয়াত লোৱা প্ৰণালীটোৰ উষ্ণতা T_1ৰ পৰা T_2 লৈ আৰু T_2ৰ পৰা T_1 লৈ সলনি কৰিবলৈ আমি তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াৰহে সহায় ল'ব লাগিব।

দুটা উষ্ণতাৰ মাজত চলা পৰাৱৰ্তনীয় তাপ ইঞ্জিনক কাৰ্ণ'ট ইঞ্জিন (Carnot engine) বোলে। ওপৰৰ আলোচনাত আমি দেখুৱাইছো যে এনে এটা ইঞ্জিন চাৰিটা পৰ্যায় থকা যিটো চক্ৰত চালিত হ'ব লাগিব সেই চক্ৰটো চিত্ৰ 12.11ত দেখুওৱাৰ দৰে এটা P–V লেখ চক্ৰ হ'ব লাগিব। এই চক্ৰটোক কাৰ্ণ'ট চক্ৰ বোলে। কাৰ্ণ'ট ইঞ্জিনটোত কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থ হিচাপে এটা আদৰ্শ গেছ লোৱা হৈছে। কাৰ্ণ'ট চক্ৰটোৰ পৰ্যায়কেইটা তলত উল্লেখ কৰা হ'ল।

(a) **পৰ্যায় 1 → 2 ঃ** গেছবিধ (P_1, V_1, T_1) অৱস্থাৰ পৰা (P_2, V_2, T_1) অৱস্থালৈ যাওঁতে হোৱা ইয়াৰ সমোষ্ণী প্ৰসাৰণ।

উৎসৰ পৰা গেছবিধে T_1 উষ্ণতাত গ্ৰহণ কৰা তাপৰ (Q_1) মান সমীকৰণ (12.12)ৰ পৰা পোৱা যায়। লগতে ই হ'ল গেছবিধে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ ওপৰত কৰা কাৰ্যৰ $(W_{1\to 2})$ মান।

$$W_{1\to 2} = Q_1 = \mu R T_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (12.23)$$

(b) **পৰ্যায় 2 → 3 ঃ** (P_2, V_2, T_1) অৱস্থাৰ পৰা (P_3, V_3, T_2) অৱস্থালৈ যাওঁতে গেছবিধৰ হোৱা তাপৰোধী প্ৰসাৰণ। সমীকৰণ (12.16) ব্যৱহাৰ কৰি আমি পাওঁ যে গেছবিধে কৰা কাৰ্য হ'ল

$$W_{2\to 3} = \frac{\mu R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \quad (12.24)$$

(c) **পৰ্যায় 3 → 4 ঃ** (P_3, V_3, T_2) অৱস্থাৰ পৰা (P_4, V_4, T_2) অৱস্থালৈ যাওঁতে হোৱা গেছবিধৰ সমোষ্ণী সংকোচন।

এই পৰ্যায়ত গেছবিধে T_2 উষ্ণতাত কূপত বৰ্জন কৰা তাপৰ পৰিমাণ (Q_2) সমীকৰণ (12.12)ৰ পৰা পোৱা যায়। লগতে ই হ'ল গেছবিধৰ ওপৰত তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকে কৰা কাৰ্যৰ $(W_{3\to 4})$ পৰিমাণ।

$$W_{3\to 4} = Q_2 = \mu R T_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right) \quad (12.25)$$

(d) **পৰ্যায় 4 → 1 ঃ** (P_4, V_4, T_2) অৱস্থাৰ পৰা (P_1, V_1, T_1) অৱস্থালৈ যাওঁতে হোৱা গেছবিধৰ তাপৰোধী সংকোচন।

সমীকৰণ (12.16)ৰ পৰা দেখা যায় যে এই ক্ষেত্ৰত গেছবিধৰ ওপৰত পাৰিপাৰ্শ্বিকে কৰা কাৰ্য হ'ল

$$W_{4\to 1} = \mu R\left(\frac{T_1 - T_2}{\gamma - 1}\right) \quad (12.26)$$

সমীকৰণ (12.23)ৰ পৰা (12.26) লৈ ব্যৱহাৰ কৰি

দেখা যায় যে এটা সম্পূৰ্ণ চক্ৰত গেছবিধে কৰা কাৰ্য হ'ল

$W = W_{1\to2} + W_{2\to3} - W_{3\to4} - W_{4\to1}$

$$= \mu RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - \mu RT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right) \quad (12.27)$$

কাৰ্নট ইঞ্জিনৰ দক্ষতা হ'ল

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$= 1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)\frac{\ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)}{\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} \quad (12.28)$$

যিহেতু পৰ্যায় $2 \to 3$ হ'ল এটা তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়া। সেয়ে,

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_3} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1/(\gamma-1)} \quad (12.29)$$

একেদৰে পৰ্যায়ত $4 \to 1$ হ'ল এটা তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়া। সেয়ে,

$$T_2 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_4} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1/\gamma-1} \quad (12.30)$$

সমীকৰণ (12.29) আৰু (12.30)ৰ পৰা দেখা যায় যে

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1} \quad (12.31)$$

সমীকৰণ (12.31)ক (12.32)ত ব্যৱহাৰ কৰি আমি পাওঁ

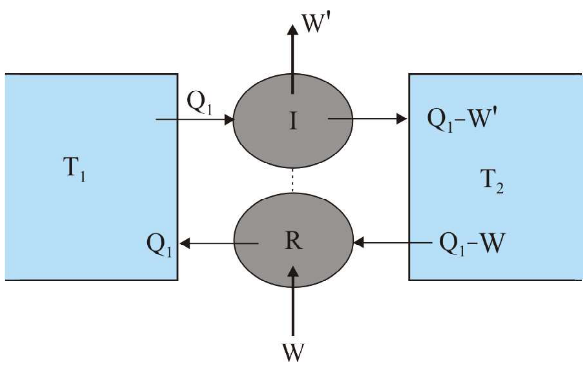
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ (কাৰ্নট ইঞ্জিন)} \quad (12.32)$$

আমি ইতিমধ্যে দেখিলোঁ যে কাৰ্নট ইঞ্জিন হ'ল এটা পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন। তদুপৰি দুটা ভিন্ন উষ্ণতাত থকা উৎসৰ সহায়ত পৰিচালিত হ'ব পৰা ইয়েই একমাত্ৰ সম্ভৱপৰ পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন। চিত্ৰ 12.11ত দেখুওৱা কাৰ্নট চক্ৰটোৰ প্ৰতিটো পৰ্যায় বিপৰীতমুখে পৰিচালিত কৰিব পাৰি। বিপৰীতে দিশে পৰিচালন কৰিলে ইঞ্জিনটোৱে T_2 উষ্ণতাত থকা কূপৰ পৰা Q_2 তাপ গ্ৰহণ কৰি প্ৰণালীৰ ওপৰত W কাৰ্য কৰিব আৰু T_1 উচ্চতৰ উষ্ণতাত থকা উৎসটোত Q_1 তাপ বৰ্জন কৰিব। তেতিয়া এই ইঞ্জিনটো এটা পৰাৱৰ্তনীয় ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ হৈ পৰিব।

ইয়াৰ পাছত আমি এই সম্পৰ্কীয় এটা গুৰুত্বপূৰ্ণ সিদ্ধান্ত প্ৰতিষ্ঠা কৰিম (এই সিদ্ধান্তটোক কাৰ্নট উপপাদ্যও (Carnot's theorem) বোলে)। ইয়াৰ মতে (a) T_1 আৰু T_2 উষ্ণতাত থকা ক্ৰমে উৎস আৰু কূপৰ সহায়ত চলা কোনো ইঞ্জিনৰ দক্ষতা কাৰ্নট ইঞ্জিনতকৈ অধিক হ'ব নোৱাৰে, আৰু (*b*) কাৰ্নট ইঞ্জিনৰ দক্ষতা সি ব্যৱহাৰ কৰা কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থবিধৰ বৈশিষ্ট্যৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ নকৰে।

সিদ্ধান্তৰ (*a*) অংশটো প্ৰমাণ কৰিবলৈ এনে উৎস আৰু কূপ ব্যৱহাৰ কৰা দুটা ইঞ্জিন ক্ৰমে R আৰু I কল্পনা কৰা— ইয়াত R হ'ল এটা পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন বা কাৰ্নট ইঞ্জিন আৰু I হ'ল এটা অপৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন। ধৰাহওঁক ইঞ্জিন দুটা এনেদৰে পৰস্পৰৰ সৈতে সংলগ্ন কৰি দিয়া হ'ল যে I ইঞ্জিনটোৱে এটা তাপ ইঞ্জিনৰ দৰে আৰু R ইঞ্জিনটোৱে এটা ৰেফ্ৰিজাৰেটৰৰ দৰে কাম কৰে। ধৰা হওঁক I ইঞ্জিনে উৎসৰ পৰা Q_1 তাপ শোষণ কৰি W কাৰ্য সম্পাদন কৰে আৰু কূপত Q_1–W পৰিমাণৰ তাপ বৰ্জন কৰে। গোটেই ব্যৱস্থাটোৰ মতে R ইঞ্জিনটোৱে কূপৰ পৰা Q_2 তাপ শোষণ কৰে। এইবাৰ Q_1 তাপ উৎসত বৰ্জন কৰে ইয়াৰ বাবে ইয়াৰ প্ৰণালীটোৰ ওপৰত বাহিৰৰ পৰা

$W=Q_1-Q_2$ পৰিমাণৰ কাৰ্য কৰিবলগীয়া হয়। ধৰা হওঁক $\eta_R<\eta_I$ অৰ্থাৎ R-এ ইঞ্জিনৰ দৰে কাম কৰিলে ই উৎপন্ন কৰা কাৰ্য I তকৈ কম হ'ব। অৰ্থাৎ সমপৰিমাণৰ Q_1ৰ বাবে $W < W'$। Rক ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ হিচাপে গণ্য কৰিলে ওপৰৰ আলোচনাৰ পৰা দেখা যায় যে $Q_2 = Q_1 - W > Q_1 - W'$। অৰ্থাৎ $I–R$ ব্যৱস্থাটোৱে সমূহীয়াভাৱে কূপৰ পৰা $(Q_1 - W) - (Q_1 - W') = (W' - W)$ পৰিমাণৰ তাপ শোষণ কৰিব আৰু সমপৰিমাণৰ কাৰ্যও এটা চক্ৰত সম্পাদন কৰিব, আৰু ইয়াৰ ফলত উৎস বা আন ক'তো কোনো ধৰণৰ পৰিৱৰ্তন নঘটে। এয়া তাপগতিবিজ্ঞানৰ দ্বিতীয় বিধিৰ কেলভিন-প্লাংকৰ উক্তিৰ পৰিপন্থী। সেয়ে $\eta_I > \eta_R$ সম্ভৱ নহয়। অৰ্থাৎ আন কোনো ধৰণৰ ইঞ্জিনৰ দক্ষতা কাৰ্ণ'ট ইঞ্জিনতকৈ অধিক হ'ব



চিত্ৰ 12.12 *এটা অপৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন Iৰ সৈতে এটা পৰাৱৰ্তনীয় ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ R সংলগ্ন কৰা হৈছে। যদি W' > W হয়, তেন্তে ব্যৱস্থাটোৱে কূপৰ পৰা W' – W তাপ শোষণ কৰি গোটেই তাপক কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰিব। ই দ্বিতীয় নীতিৰ পৰিপন্থী।*

নোৱাৰে। একে ধৰণৰ যুক্তিৰে দেখুৱাব পাৰি যে এক ধৰণৰ পদাৰ্থ ব্যৱহাৰ কৰা পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন এটা আন এক ধৰণৰ পদাৰ্থ ব্যৱহাৰ কৰা পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন এটাতকৈ অধিক দক্ষ হ'ব নোৱাৰে। সমীকৰণ *(12.32)*ৰ পৰা দেখা যায় যে কাৰ্ণ'ট ইঞ্জিনৰ দক্ষতাৰ সৰ্বোচ্চ মান কাৰ্ণ'ট চক্ৰত অংশগ্ৰহণ কৰা পদাৰ্থৰ প্ৰকৃতিৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল নহয়। সেয়ে, কাৰ্ণ'ট ইঞ্জিনৰ দক্ষতা গণনা কৰাত আদৰ্শ গেছক কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থ বুলি ধৰি লোৱাটো যুক্তিপূৰ্ণ। আদৰ্শ গেছৰ অৱস্থাৰ সমীকৰণটো গাণিতিকভাৱে সৰল। ফলত সহজে আমি ηৰ মান গণনা কৰিব পাৰোঁ। সেয়ে হ'লেও যিকোনো কাৰ্ণ'ট ইঞ্জিনৰ বাবে ηৰ প্ৰকাশৰাশি একেটা (সমীকৰণ *12.32*)।

আমাৰ শেষ উক্তিটোৰ পৰা দেখুৱাব পাৰি যে কাৰ্ণ'ট চক্ৰ এটাৰ বাবে

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad (12.33)$$

এই সম্বন্ধটো কোনো পদাৰ্থৰ প্ৰকৃতিৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ নকৰে। ই এক সাৰ্বজনীন সম্বন্ধ। ইয়াত Q_1 আৰু Q_2 হ'ল এটা কাৰ্ণ'ট চক্ৰত ক্ৰমে উৎসৰ পৰা গ্ৰহণ কৰা তাপ আৰু কূপলৈ বৰ্জন কৰা তাপ। গতিকে দেখা গ'ল যে সমীকৰণ *(12.33)*ৰ সহায়ত এটা প্ৰকৃতাৰ্থত সাধাৰণ তাপগতিভিত্তিত উষ্ণতাৰ স্কেলৰ সংজ্ঞা দিব পাৰি। এই স্কেল কাৰ্ণ'ট চক্ৰত ভাগ লোৱা পদাৰ্থবিধৰ ধৰ্মৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ নকৰে। আদৰ্শ গেছক কাৰ্য সম্পাদনকাৰী পদাৰ্থ হিচাপে ল'লে এই সাধাৰণ উষ্ণতা আৰু *12.11* দফাত দেখুওৱা আদৰ্শ গেছৰ উষ্ণতা একে হৈ পৰে।

সাৰাংশ

1. তাপগতিবিজ্ঞানৰ শূন্যতম বিধি মতে ‘যদি দুটা প্ৰণালীৰ প্ৰত্যেকেই পৃথকে পৃথকে তৃতীয় এটা প্ৰণালীৰ সৈতে তাপীয় সাম্যত থাকে, তেন্তে প্ৰথম প্ৰণালী দুটাৰ প্ৰত্যেকেই প্ৰত্যেকৰ সৈতে তাপীয় সাম্যত থাকিব।’ শূন্যতম বিধিটোৰ পৰাই উষ্ণতাৰ ধাৰণাটোৰ জন্ম হয়।
2. প্ৰণালী এটাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি হ’ল প্ৰণালীটোৰ অণুবোৰৰ গতি শক্তি আৰু স্থিতি শক্তিৰ সমষ্টি। ইয়াত প্ৰণালীটোৰ সামগ্ৰিক গতি শক্তি অন্তৰ্ভুক্ত নহয়। তাপ আৰু কাৰ্য হ’ল প্ৰণালী এটাক শক্তি যোগান ধৰা দুটা ভিন্ন উপায়। প্ৰণালী এটা আৰু তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজৰ উষ্ণতাৰ ভিন্নতাৰ বাবে হোৱা শক্তিৰ আদান-প্ৰদানক তাপ বোলে। কাৰ্য হ’ল অন্য উপায়ে হোৱা শক্তিৰ আদান-প্ৰদান, যেনে— গেছ থকা চুঙা এটাত পিষ্টনৰ গতি। এই গতি পিষ্টনটোৰ সৈতে সংলগ্ন ভাৰ একোটা ওপৰলৈ উঠাই বা তললৈ নমাই দিয়াৰ ফলত হয়।
3. কোনো এটা প্ৰণালী আৰু তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত (তাপ আৰু কাৰ্যৰ যোগে) হোৱা শক্তিৰ বিনিময়ৰ ক্ষেত্ৰত প্ৰযোজ্য শক্তিৰ সংৰক্ষণৰ সাধাৰণ বিধিটোৱেই হ’ল তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধি। গাণিতিকভাৱে বিধিটোক তলত দিয়া ধৰণে প্ৰকাশ কৰা হয়—

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

ইয়াত ΔQ হ’ল প্ৰণালীটোক যোগান ধৰা তাপ, ΔW হ’ল প্ৰণালীটোৱে কৰা কাৰ্য আৰু ΔU হ’ল প্ৰণালীটোৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ পৰিৱৰ্তনৰ মান।

4. পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতিৰ সংজ্ঞা হ’ল

$$s = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

ইয়াত m হ’ল পদাৰ্থবিধৰ ভৰ আৰু ΔQ হ’ল ΔT পৰিমাণে পদাৰ্থবিধৰ উষ্ণতা সলনি কৰিবলৈ প্ৰয়োজন হোৱা তাপ। পদাৰ্থৰ ম’লাৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতি হ’ল

$$C = \frac{1}{\mu}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

ইয়াত μ হ’ল পদাৰ্থখিনিত থকা ম’লৰ সংখ্যা আৰু ΔQ হ’ল ΔT পৰিমাণে পদাৰ্থবিধৰ উষ্ণতা সলনি কৰিবলৈ প্ৰয়োজন হোৱা তাপ। কঠিন পদাৰ্থৰ ক্ষেত্ৰত শক্তিৰ সম-বিভাজনৰ বিধিৰ পৰা পোৱা যায় যে

$$C=3R$$

C ৰ এই মান সাধাৰণ উষ্ণতাত পৰীক্ষামূলক মানৰ সৈতে একে বুলি দেখা যায়।

কেল’ৰি হ’ল তাপৰ জোখ-মাপৰ পুৰণি একক। 1 কেল’ৰি হ’ল $1g$ পানীৰ উষ্ণতা 14.5^oCৰ পৰা 15.5^oC লৈ বৃদ্ধি কৰিবলৈ প্ৰয়োজন হোৱা তাপৰ পৰিমাণ। 1 cal = 4.186 J।

5. আদৰ্শ গেছৰ ক্ষেত্ৰত স্থিৰ চাপ আৰু স্থিৰ আয়তনত গেছৰ ম’লাৰ আপেক্ষিক তাপ ক্ৰমে C_p

আৰু C_vৰ মাজৰ সম্বন্ধটো হ'ল

$$C_p - C_v = R$$

ইয়াত R হ'ল গেছৰ সাৰ্বজনীন ধ্ৰুৱক।

6. তাপগতিবিশিষ্ট প্ৰণালী এটাৰ সাম্য অৱস্থাৰ বৰ্ণনা দিয়া ৰাশিবোৰক প্ৰণালীটোৰ অৱস্থাগত চলক বোলে। প্ৰণালী এটাই এক বিশেষ অৱস্থাত উপনীত হ'বলৈ কেনে ধৰণৰ বাট এটা লৈছে তাৰ ওপৰত এই চলকবোৰৰ মান নিৰ্ভৰ নকৰে, কৰে মাথোঁ সেই বিশেষ অৱস্থাটোৰ ওপৰতহে। অৱস্থাগত চলকৰ উদাহৰণ হ'ল চাপ (P), আয়তন (V), উষ্ণতা (T) আৰু ভৰ (m)। তাপ আৰু কাৰ্য অৱস্থাগত চলক নহয়। কোনো এটা প্ৰণালীৰ অৱস্থাৰ সমীকৰণ (যেনে— আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণ $PV = \mu RT$) হ'ল প্ৰণালীটোৰ এক বিশেষ অৱস্থাৰ বৰ্ণনা দিবলৈ ব্যৱহাৰ কৰা অৱস্থাগত চলকবোৰৰ মাজৰ এটা সম্বন্ধ।

7. সাম্যপ্ৰায় প্ৰক্ৰিয়াবোৰ অতিশয় ধীৰ গতিত চলে যাতে প্ৰণালীটোৱে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ সৈতে সকলো সময়তে তাপীয় আৰু যান্ত্ৰিক সাম্যত থাকে। সাম্যপ্ৰায় অৱস্থাত থকা প্ৰণালী এটা আৰু তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজৰ চাপ আৰু উষ্ণতাৰ পাৰ্থক্য অতিশয় কম হয়।

8. সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াৰে T স্থিৰ চাপত আদৰ্শ গেছ এটাই V_1 আয়তনৰ পৰা V_2 আয়তনলৈ প্ৰসাৰিত হ'লে গেছবিধে শোষণ কৰা তাপ (Q) আৰু সি কৰা কাৰ্যৰ মান সমান হয়, আৰু এই মান হয়

$$Q = W = \mu R T \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

9. আদৰ্শ গেছৰ তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াত তাৰ অৱস্থাৰ সমীকৰণ হ'ল

$$PV^{\gamma} = \text{ধ্ৰুৱক}$$

ইয়াত $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v}$

তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াৰে আদৰ্শ গেছ এটাই (P_1, V_1, T_1) অৱস্থাৰ পৰা (P_2, V_2, T_2) অৱস্থালৈ যাওঁতে গেছবিধে কৰা কাৰ্য হ'ল

$$W = \frac{\mu R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$

10. তাপ ইঞ্জিন হ'ল তাপক কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰা এটা যন্ত্ৰ। যন্ত্ৰটোত থকা প্ৰণালী এটাই তাপক কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰিবলৈ এটা চক্ৰীয় প্ৰক্ৰিয়াৰ সহায় লয়। যদি ইঞ্জিনটোৱে তাপৰ উৎসৰ পৰা Q_1 তাপ গ্ৰহণ কৰি W পৰিমাণৰ কাৰ্য সম্পাদন কৰে আৰু Q_2 তাপ কূপত বৰ্জন কৰে, তেন্তে ইঞ্জিনটোৰ দক্ষতা হয়

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

11. ৰেফ্রিজাৰেটৰ অথবা তাপ পাম্পত যন্ত্ৰটোৱে কূপৰ পৰা Q_2 তাপ শোষণ কৰে আৰু Q_1 তাপ উৎসত বৰ্জন কৰে। এইখিনি কৰিবলৈ যন্ত্ৰটোত থকা প্ৰণালীটোৰ ওপৰত বাহিৰৰ পৰা W পৰিমাণৰ কাৰ্য কৰিবলগীয়া হয়। ৰেফ্রিজাৰেটৰৰ সম্পাদন গুণাংক হ'ল

$$\alpha = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

12. তাপগতিবিজ্ঞানৰ প্ৰথম বিধিয়ে সম্ভৱপৰ বুলি স্বীকৃতি দিয়া কিছুমান প্ৰক্ৰিয়াক দ্বিতীয় বিধিয়ে নিষেধ বুলি কয়। দ্বিতীয় বিধিটোৰ দুটা ৰূপ হ'ল এনে ধৰণৰ ঃ

কেলভিন-প্লাংকৰ উক্তি

প্ৰকৃতিত এনে কোনো প্ৰক্ৰিয়া সম্ভৱপৰ নহয় যাৰ একমাত্ৰ পৰিণতি হ'ল উৎসৰ পৰা তাপ শোষণ কৰা আৰু শোষিত তাপক সম্পূৰ্ণৰূপে কাৰ্যলৈ ৰূপান্তৰিত কৰা।

ক্ল'ছিয়াছৰ উক্তি

প্ৰকৃতিত এনে কোনো প্ৰক্ৰিয়া সম্ভৱপৰ নহয় যাৰ একমাত্ৰ পৰিণতি হ'ল শীতলতৰ বস্তু এটাৰ পৰা তাপ শোষণ কৰি সেই তাপ উষ্ণতৰ বস্তু এটাত বৰ্জন কৰা।

সহজ কথাত ক'বলৈ গ'লে দ্বিতীয় বিধি মতে কোনো তাপ ইঞ্জিনৰ দক্ষতা (η) এক হ'ব নোৱাৰে আৰু কোনো ৰেফ্রিজাৰেটৰৰ সম্পাদন গুণাংক (α)ৰ মান অসীম হ'ব নোৱাৰে।

13. কোনো এটা প্ৰক্ৰিয়াক বিপৰীত দিশে চলাই নি যদি প্ৰণালী আৰু পাৰিপাৰ্শ্বিকতা, উভয়ৰে প্ৰাৰম্ভিক অৱস্থাত উপনীত হ'ব পৰা যায়, আৰু ইয়াৰ ফলত যদি বিশ্ব ব্ৰহ্মাণ্ডৰ আন ক'তো কোনো ধৰণৰ প্ৰভাৱ নপৰে, তেন্তে তেনে প্ৰক্ৰিয়াক পৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া বোলে। প্ৰকৃতিত স্বতঃস্ফূৰ্তভাৱে হোৱা পৰিঘটনাবোৰ অপৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়া। আমি ভাবি লোৱা আদৰ্শ পৰাৱৰ্তনীয় প্ৰক্ৰিয়াবোৰ হ'ল সাম্যপ্ৰায় প্ৰক্ৰিয়া, আৰু এনে প্ৰক্ৰিয়াত শক্তিক্ষয়ী বল, যেনে— ঘৰ্ষণ, সান্দ্ৰতা আদি জড়িত থাকিব নোৱাৰে।

14. কাৰ্ন'ট ইঞ্জিন হ'ল দুই উষ্ণতা, T_1 (উৎস) আৰু T_2 (কূপ)ৰ অন্তৰালত পৰিচালিত এটা পৰাৱৰ্তনীয় ইঞ্জিন। কাৰ্ন'ট চক্ৰত দুটা সমোষ্ণী প্ৰক্ৰিয়াক দুটা তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াই লগলগাই ৰাখে। কাৰ্ন'ট ইঞ্জিনৰ দক্ষতা হ'ল

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{(কাৰ্ন'ট ইঞ্জিন)}$$

15. যদি $Q > 0$, তেন্তে প্ৰণালীটোত তাপ যোগান ধৰা হয়

যদি $Q < 0$, তেন্তে প্ৰণালীটোৱে তাপ বৰ্জন কৰে

যদি $W > 0$, তেন্তে প্ৰণালীটোৱে কাৰ্য কৰে

যদি $W < 0$, তেন্তে প্ৰণালীটোৰ ওপৰত কাৰ্য কৰা হয়।

ৰাশি	চিহ্ন	মাত্ৰা	একক	মন্তব্য
আয়তন প্ৰসাৰণ গুণাংক	α_V	$[K^{-1}]$	K^{-1}	$\alpha_V = 3\alpha_l$
প্ৰণালী এটাই গ্ৰহণ কৰা তাপ	ΔQ	$[ML^2T^{-2}]$	J	Q অৱস্থাগত চলক নহয়
আপেক্ষিক তাপ	s	$[L^2T^{-2}K^{-1}]$	$J kg^{-1} K^{-1}$	
তাপ পৰিবাহিতা	K	$[MLT^{-3}K^{-1}]$	$J s^{-1} K^{-1}$	$H = -KA\frac{dt}{dx}$

মন কৰিবলগীয়া

1. বস্তু এটাৰ উষ্ণতা তাৰ গড় আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ সৈতে জড়িত, বস্তুটোৰ ভৰ কেন্দ্ৰৰ গতি শক্তিৰ সৈতে নহয়। বন্দুকৰ পৰা ওলাই যোৱা গুলীটোৰ বেগ যথেষ্ট বেছি হোৱাৰ বাবেই তাৰ উষ্ণতা বন্দুকৰ নলীতকৈ বেছি নহয়।

2. তাপগতিবিজ্ঞানত সাম্য অৱস্থাৰ অৰ্থ এয়ে যে প্ৰণালী এটাৰ এক বিশেষ অৱস্থাৰ বৰ্ণনা দিয়া প্ৰণালীটোৰ স্থূল চলকবোৰ সময়ৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল নহয়। বলবিজ্ঞানত বস্তুৰ সাম্য অৱস্থাৰ অৰ্থ হ'ল বস্তুটোৰ ওপৰত ক্ৰিয়া কৰা লব্ধ বাহ্যিক বল আৰু টৰ্কৰ মান শূন্য।

3. তাপগতিবিজ্ঞানত প্ৰণালী এটা যেতিয়া সাম্য অৱস্থাত থাকে, তেতিয়া প্ৰণালীটোত থকা তাৰ ক্ষুদ্ৰ অংশবোৰ (যান্ত্ৰিক) সাম্য অৱস্থাত নাথাকে।

4. প্ৰণালী এটাৰ তাপধৃতি সাধাৰণতে প্ৰণালীটোৱে তাপ গ্ৰহণ কৰোঁতে কেনে প্ৰক্ৰিয়াৰে সেই তাপ শোষণ কৰিছে তাৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল।

5. সমোষ্ণী, সাম্যপ্ৰায় অৱস্থাত প্ৰণালী এটা প্ৰতিটো ক্ষণতে তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ সৈতে একে উষ্ণতাত থাকে, অথচ তেনে অৱস্থাতো প্ৰণালী আৰু পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত তাপৰ বিনিময় ঘটে। ইয়াৰ কাৰণ হ'ল প্ৰণালী আৰু তাৰ পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ মাজত প্ৰকৃততে উষ্ণতাৰ এক অতি সূক্ষ্ম পাৰ্থক্য থাকে।

অনুশীলনী

12.1 পানী তপতোৱা গিজাৰ (geyser) এটাৰ মাজেৰে পানী পাৰ হৈ ওলাই যাওঁতে তাৰ উষ্ণতা 27 °Cৰ পৰা 77 °Cলৈ বৃদ্ধি পায়। গিজাৰটোৰ মাজেৰে প্ৰতি মিনিটত 3.0 লিটাৰ পানী বৈ যায়। গিজাৰটোক গেছ জ্বলাই শক্তিৰ যোগান ধৰা হয়। যদি গেছবিধৰ দহন তাপ (heat of combustion) 4.0×10^4 Jg^{-1} হয়, তেন্তে গিজাৰটোৱে কি হাৰত গেছ ব্যৱহাৰ কৰে?

12.2 কোঠাৰ উষ্ণতাত থকা 2.0×10^{-2} kg নাইট্ৰ'জেনৰ উষ্ণতা স্থিৰ চাপত 45 °C বৃদ্ধি কৰিবলৈ কিমান তাপ যোগান ধৰিব লাগিব? (নাইট্ৰ'জেনৰ আণৱিক ভৰ $N_2 = 28$; $R = 8.3$ J mol^{-1} K^{-1})

12.3 কিয় এনে হয় ব্যাখ্যা কৰা ঃ

(a) T_1 আৰু T_2 দুটা ভিন্ন উষ্ণতাত থকা বস্তু দুটাক পৰস্পৰৰ সৈতে তাপীয় সংস্পৰ্শলৈ আনিলে সিহঁতৰ অন্তিম সমূহীয়া উষ্ণতা সদায় $\frac{(T_1+T_2)}{2}$ নহ'বও পাৰে।

(b) ৰাসায়নিক অথবা নিউক্লীয় শক্তি প্ৰকল্পত ব্যৱহাৰ কৰা শীতলক (coolant) (শীতলকৰ দ্বাৰা শক্তি প্ৰকল্পৰ বিভিন্ন অংশ শীতল কৰি ৰখা হয়) পদাৰ্থবিধ উচ্চ আপেক্ষিক তাপযুক্ত হোৱা উচিত।

(c) গাড়ী এখন চলি থকা অৱস্থাত তাৰ চকাৰ ভিতৰৰ বায়ুৰ চাপ বৃদ্ধি পায়।

(d) বন্দৰ চহৰ এখনৰ জলবায়ু একে দ্ৰাঘিমাত অৱস্থিত মৰুভূমিৰ নগৰ এখনতকৈ কম উগ্ৰ হয়।

12.4 গতিক্ষম পিষ্টন লগোৱা চুঙা এটাৰ ভিতৰত 3 ম'ল হাইড্ৰ'জেন গেছ আবদ্ধ হৈ আছে। গেছবিধ প্ৰমাণ উষ্ণতা আৰু চাপত আছে। চুঙাটোৰ বেৰকেইখন অন্তৰক পদাৰ্থৰে তৈয়াৰী, আৰু লগতে পিষ্টনৰ ওপৰত বালিৰ প্ৰলেপ এটা দি তাকো অন্তৰিক কৰি ৰখা হৈছে। গেছবিধৰ আয়তন পূৰ্বৰ আধা কৰি তুলিলে তাৰ চাপ কিমান গুণ বাঢ়িব?

12.5 তাপৰোধী প্ৰক্ৰিয়াৰে এবিধ গেছক A সাম্যাৱস্থাৰ পৰা B সাম্যাৱস্থালৈ নিওঁতে প্ৰণালীটোৰ ওপৰত 22.3 J কাৰ্য কৰিবলগীয়া হয়। সেই গেছটোক আন এটা প্ৰক্ৰিয়াৰে Aৰ পৰা Bলৈ নিওঁতে যদি প্ৰণালীটোৱে 9.35 কেল'ৰি তাপ শোষণ কৰে, তেন্তে পিছৰ বাৰত প্ৰণালীটোৱে কৰা কাৰ্যৰ মান নিৰ্ণয় কৰা। (ধৰা 1 কেল'ৰি = 4.19 J)।

12.6 নল (stopcock) এটাৰ সহায়ত সম আয়তনৰ দুটা চুঙা A আৰু B সংলগ্ন হৈ আছে। A চুঙাটোত প্ৰমাণ উষ্ণতা আৰু চাপত এবিধ গেছ আছে। আনহাতে B চুঙাটো সম্পূৰ্ণ খালী। গোটেই ব্যৱস্থাটোক পাৰিপাৰ্শ্বিকতাৰ পৰা তাপীয়ভাৱে অন্তৰিত কৰি ৰখা হৈছে। এতিয়া নলটো যদি হঠাৎ খুলি দিয়া হয়, তেন্তে তলৰ প্ৰশ্নকেইটাৰ উত্তৰ দিয়া ঃ

(a) A আৰু B গেছবিধৰ অন্তিম চাপ কিমান?

(b) গেছবিধৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ পৰিৱৰ্তন কিমান?

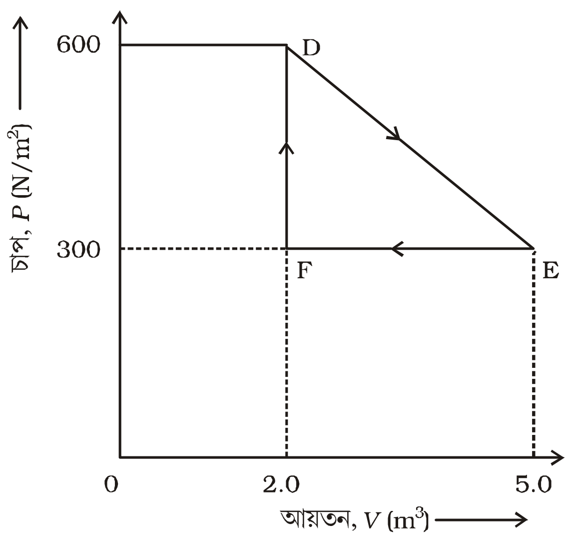
(c) গেছবিধৰ উষ্ণতাৰ পৰিৱৰ্তন কিমান?

(d) গেছবিধৰ মধ্যৱৰ্তী অৱস্থাবোৰ (গেছটোৱে তাৰ অন্তিম অৱস্থাত ৰৈ যোৱাৰ পূৰ্বৰ অৱস্থাৰ) তাৰ P-V-T পৃষ্ঠত অৱস্থিত নেকি?

12.7 ভাপ ইঞ্জিন এটাই বয়লাৰৰ পৰা প্ৰতি মিনিটত 3.6×10^9 J তাপ গ্ৰহণ কৰে আৰু প্ৰতি মিনিটত 5.4×10^8 J যান্ত্ৰিক কাৰ্য সম্পাদন কৰে। ইঞ্জিনটোৰ দক্ষতা কিমান? প্ৰতি মিনিটত কিমান তাপৰ অপচয় ঘটে?

12.8 প্ৰণালী এটাক বৈদ্যুতিক হিটাৰ (heater) এটাই 100 W তাপৰ যোগান ধৰে। যদি প্ৰণালীটোৱে প্ৰতি ছেকেণ্ডত 75 J কাৰ্য সম্পাদন কৰে, তেন্তে প্ৰণালীটোৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি কি হাৰত বৃদ্ধি পায়?

12.9 চিত্ৰ 12.13ত দেখুওৱাৰ দৰে এলানি ৰৈখিক প্ৰক্ৰিয়াৰ সহায়ত তাপগতিবিশিষ্ট প্ৰণালী এটাক এক প্ৰাৰম্ভিক অৱস্থা Dৰ পৰা তাৰ এক মধ্যৱৰ্তী অৱস্থা E লৈ নিয়া হ'ল। তাৰপাছত এক সমায়তনী প্ৰক্ৰিয়াৰে প্ৰণালীটোৰ আয়তন Eৰ পৰা Fলৈ আনি তাৰ আয়তন পূৰ্বৰ সমান কৰা হ'ল। প্ৰণালীটোৱে Dৰ পৰা E লৈ আৰু Eৰ পৰা F লৈ যাওঁতে সি কৰা কাৰ্যৰ মান নিৰ্ণয় কৰা।



চিত্ৰ 12.13

12.10 ৰেফ্ৰিজাৰেটৰ এটাৰ ভিতৰত 9°C উষ্ণতাত খোৱাবস্তু সজীৱকৈ ৰখা হয়। যদি কোঠাৰ উষ্ণতা 36°C হয়, তেন্তে ৰেফ্ৰিজাৰেটৰটোৰ সম্পাদন গুণাংক গণনা কৰা।