ত্ৰয়োদশ অধ্যায়

গেছৰ গতিবাদ তত্ত্ব
(Kinetic Theory of Gases)

13.1 আগকথা

13.2 পদাৰ্থৰ আণৱিক প্ৰকৃতি

13.3 গেছৰ আচৰণ

13.4 এবিধ আদৰ্শ গেছৰ গতিবাদ তত্ত্ব

13.5 শক্তি সমবিভাজনৰ বিধি

13.6 আপেক্ষিক তাপধৃতি

13.7 গড় মুক্ত পথ

সাৰাংশ

মন কৰিবলগীয়া

অনুশীলনী

অতিৰিক্ত অনুশীলনী

13.1 আগকথা (INTRODUCTION)

গেছৰ আচৰণ সম্বন্ধে বয়লে (Boyle) 1661 চনত এটা বিধি আৱিষ্কাৰ কৰে; আৰু তেওঁৰ নাম অনুসৰি এই বিধিটোক বয়লৰ বিধি (Boyle's Law) বুলি জনা যায়। গেছক পৰমাণুৰ সমষ্টি বুলি ধৰি লৈ বয়ল, নিউটনকে আদি কৰি কেবাগৰাকী বিজ্ঞানীয়ে গেছৰ আচৰণ ব্যাখ্যা কৰিবলৈ চেষ্টা কৰিছিল। ইয়াৰ 150 বছৰ পাছতহে পদাৰ্থৰ পাৰমাণৱিক তত্ত্বটো প্ৰতিষ্ঠা হৈছিল। গেছ এবিধ দ্ৰুতভাৱে গতি কৰি থকা অণু বা পৰমাণুৰ সমষ্টি বুলি ধৰি লৈ গতিবাদ তত্ত্বই গেছৰ আচৰণ ব্যাখ্যা কৰে। গোটা আৰু জুলীয়া পদাৰ্থত পৰমাণুবোৰ ইটো-সিটোৰ সৈতে এবিধ হ্ৰস্ব পৰিসৰৰ বলৰ দ্বাৰা বান্ধ খাই থকাৰ বাবে সিহঁতৰ মুক্ত আৰু দ্ৰুত বিচৰণ সম্ভৱপৰ নহয়; এই হ্ৰস্ব পৰিসৰৰ আণৱিক বল গেছৰ ক্ষেত্ৰত উপেক্ষা কৰিব পাৰি কাৰণে গতিবাদ তত্ত্ব প্ৰয়োগ কৰিব পাৰি। গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বটো (kinetic theory of gases) ঊনৈশ শতিকাত মেক্সৱেল, বল্ট্‌জমেনকে আদি কৰি কেবাজনো বিজ্ঞানীৰ অৰিহণাৰ ফলত বিকশিত হৈছিল। তত্ত্বটোৱে অতি সুচাৰুৰূপে গেছৰ আচৰণৰ ব্যাখ্যা দিয়াত সক্ষম হ'ল। গেছৰ অণু-পৰমাণুবোৰৰ গতিৰ সহায়ত তত্ত্বটোৱে গেছৰ চাপ আৰু উষ্ণতাৰ ব্যাখ্যা দিয়ে। তদুপৰি তত্ত্বটোৰ সহায়ত গেছৰ বিধি আৰু লগতে এভ'গেড্ৰ'ৰ প্ৰকল্পটোও (Avogadro's hypothesis) সাব্যস্ত কৰিব পাৰি। তত্ত্বটোৱে কেবাবিধ গেছৰ আপেক্ষিক তাপধৃতিৰ (specific heat capacity) শুদ্ধ ব্যাখ্যা দিয়ে। তদুপৰি সান্দ্ৰতা (viscosity), পৰিবহণ (conduction) আৰু ব্যাপন (diffusion) ইত্যাদি গেছৰ মাপ্য (measurable) ধৰ্মৰ সৈতে গেছৰ অণু-পৰমাণুবোৰৰ কোনবোৰ ভৌতিক ধৰ্ম কেনেদৰে জড়িত হৈ থাকে সেই গাণিতিক সম্বন্ধবোৰো এই তত্ত্বই দিয়ে। এনে সম্বন্ধবোৰৰ পৰাই গেছৰ অণুৰ ভৰ আৰু আকাৰ গণনা কৰি উলিয়াব পৰা গৈছে।

এই অধ্যায়ত গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বৰ এটা পৰিচিতি দাঙি ধৰা হ'ব।

প্ৰাচীন ভাৰতবৰ্ষ আৰু গ্ৰীচত পৰমাণুৰ ধাৰণা

আধুনিক বিজ্ঞানত পৰমাণুৰ ধাৰণাৰ অন্তৰ্ভুক্তিৰ স্বীকৃতি যদিও জন ডেল্ট'নক (John Dalton) দিয়া হয় প্ৰাচীন ভাৰত আৰু গ্ৰীচৰ কেবাগৰাকী দাৰ্শনিকে অণু আৰু পৰমাণুৰ অস্তিত্বৰ কথা জানিছিল। খ্ৰীষ্টপূৰ্ব ষষ্ঠ শতিকাত ভাৰতবৰ্ষত কণাদ নামৰ এগৰাকী মুনিয়ে বৈশেষিক নামৰ এটা দৰ্শন প্ৰৱৰ্তন কৰে। এই দৰ্শনত পদাৰ্থৰ পৰমাণুভিত্তিক গঠন সম্পৰ্কে বিশদ আলোচনা আছে। পৰমাণুক সকলো পদাৰ্থৰ স্থায়ী, অবিভাজ্য, ক্ষুদ্ৰতম আৰু চূড়ান্ত অংশ বুলি ধৰা হৈছে। দৰ্শনটোৱে আগবঢ়োৱা যুক্তি অনুসৰি যদি শস্যৰ কণিকা এটা আৰু পৰ্বত এখনক ক্ষুদ্ৰতকৈ ক্ষুদ্ৰতৰ অংশলৈ ভাঙি গৈ থকা হয় তেন্তে দুয়োটাৰে অন্তিম অংশৰ মাজত কোনো পাৰ্থক্য নাথাকিব। প্ৰকৃতিত চাৰি প্ৰকাৰৰ পৰমাণু আছে— ভূমি, অপ (অথবা পানী), তেজস্ব (অথবা জুই) আৰু বায়ু। ইহঁতৰ প্ৰত্যেকৰে ভৰ আৰু আন আন বৈশিষ্ট্যসমূহ ভিন ভিন। আকাশ পৰমাণুৰে গঠিত নহয় বুলি ধৰা হৈছে। ই অবিচ্ছিন্ন আৰু নিষ্ক্ৰিয় বুলি ভবা হৈছিল। পৰমাণুবোৰ লগলাগি অণুৰ সৃষ্টি কৰে (যেনে দুটা পৰমাণু লগ লাগি এটা দ্বি পৰমাণু অণু অথবা এটা দ্বি-অণুকা, তিনিটা পৰমাণু লগ লাগি এটা ত্ৰিপৰমাণু অণু অথবা ত্ৰি-অণুকা ইত্যাদি গঠন কৰে। অণু একোটাত থকা ভিন ভিন পৰমাণুৰ প্ৰকৃতি আৰু সংখ্যাৰ অনুপাতে অণুটোৰ ধৰ্ম নিৰূপণ কৰে। সেই সময়ৰ দাৰ্শনিকে পৰমাণুবোৰৰ আকাৰো জুখি উলিয়াইছিল। জোখ-মাপটো অনুমানভিত্তিক হ'ব পাৰে অথবা আমি নজনা কোনো পদ্ধতিও হ'ব পাৰে। জোখ-মাপবোৰৰ তাৰতম্যও দেখা যায়। প্ৰধানকৈ খ্ৰীষ্টপূৰ্ব দ্বিতীয় শতিকাত ৰচিত ললিতবিস্তাৰ (Lalitavistara) নামৰ বুদ্ধদেৱৰ জীৱনী-গ্ৰন্থখনত উল্লেখ কৰা পৰমাণুৰ আকাৰ আধুনিক বিজ্ঞানে নিৰ্ণয় কৰি উলিওৱা আকাৰৰ ওচৰা-ওচৰি (10^{-10} m পৰিসৰৰ)।

খ্ৰীষ্টপূৰ্ব চতুৰ্থ শতিকাৰ গ্ৰীক দাৰ্শনিক ডেম'ক্ৰিটাছ (Democritus) তেওঁৰ পদাৰ্থৰ পাৰমাণৱিক তত্ত্বৰ বাবে প্ৰসিদ্ধ। গ্ৰীক ভাষাত 'এটম'ছ'ৰ অৰ্থ হ'ল 'অবিভাজ্য'। ডেম'ক্ৰিটাছৰ মতে ভিন ভিন পদাৰ্থৰ পৰমাণুবোৰ ভৌতিকভাৱে পৰস্পৰৰ সৈতে ভিন্ন। এবিধ পদাৰ্থ পৰমাণুৰ আকাৰ, আকৃতি আৰু আন আন ধৰ্মবোৰ আন এবিধ পদাৰ্থৰ পৰমাণুৰ তুলনাত ভিন্ন। ভিন্ন প্ৰকৃতিৰ পৰমাণুৰ সংমিশ্ৰণত সৃষ্টি হোৱা ভিন ভিন যৌগৰ ধৰ্মবোৰো, সেয়ে ভিন ভিন হয়। পানীৰ পৰমাণুবোৰ মসৃণ, গোলাকাৰ আৰু সিহঁতৰ ইটোৱে সিটোৰ সৈতে কামোৰ খাই নাথাকে। সেয়ে পানী আৰু আন তৰলো সহজে প্ৰৱাহিত হয়। মাটিৰ পৰমাণুবোৰ খহটা, ওখোৰা-মোখোৰা। সেয়ে সিহঁত পৰস্পৰৰ সৈতে কামোৰ খাই থাকে আৰু কঠিন পদাৰ্থৰ সৃষ্টি কৰে। জুইৰ পৰমাণুবোৰত হুল থাকে। সেয়ে জুয়ে পুৰিলে যন্ত্ৰণা অনুভৱ হয়। এই ধাৰণাবোৰ চমৎকাৰ আছিল যদিও ইহঁতৰ পৰৱৰ্তী কোনো ধৰণৰ বিকাশ নঘটিল। ইয়াৰ সম্ভাব্য কাৰণ হ'ল ধাৰণাবোৰ মূলতঃ চিন্তাপ্ৰসূত আছিল। পৰীক্ষাৰ দ্বাৰা এই ধাৰণাবোৰৰ যথাৰ্থতা প্ৰমাণিত হোৱা নাছিল— ধাৰণাৰ পৰীক্ষামূলক প্ৰমাণ আধুনিক বিজ্ঞানৰ বৈশিষ্ট্য।

13.2 পদাৰ্থৰ আণৱিক প্ৰকৃতি (Molecular Nature of Matter)

'পদাৰ্থ পৰমাণুৰে গঠিত'— বিংশ শতিকাত এগৰাকী অন্যতম মহৎ বিজ্ঞানী ৰিচাৰ্ড ফাইনমেনৰ (Richard Feynman) মতে এই সত্যটোৰ আৱিষ্কাৰ মানৱ সভ্যতাৰ এক গুৰুত্বপূৰ্ণ কৃতিত্ব। ভৱিষ্যতে যদি মানুহে নিজকে প্ৰজ্ঞাৰে পৰিচালিত নকৰে তেন্তে হয় পাৰমাণৱিক অস্ত্ৰই, নতুবা পৰিৱেশৰ প্ৰদূষণে মানৱ জাতিক নিৰ্মূল কৰি পেলাব পাৰে। তেনে এক দুৰ্যোগত যদি আমাৰ আটাইবোৰ বৈজ্ঞানিক জ্ঞান-ভাণ্ডাৰ ধ্বংসও হৈ যায়, তেন্তে ফাইনমেনৰ মতে মানুহে আন একো কৰিব নোৱাৰিলেও পদাৰ্থৰ গঠনৰ পাৰমাণৱিক তত্ত্বটো আমাৰ পাছৰ প্ৰজন্মলৈ কেনেবাকৈ থৈ যাব পাৰিলেই যথেষ্ট হ'ব। তত্ত্বটোৰ মতে সকলো বস্তুৱেই পৰমাণুৰে গঠিত। পৰমাণুবোৰ সকলো সময়তে গতিশীল অৱস্থাত থাকে। পৰস্পৰৰ ওচৰা-ওচৰিকৈ থাকিলে ইহঁতৰ ইটোৱে সিটোক আকৰ্ষণ কৰে। আনহাতে পৰমাণুবোৰৰ ইটোক সিটোৰ সৈতে চেঁপি-হেঁচি একত্ৰিত কৰিব খুজিলে ইহঁতৰ পৰস্পৰে পৰস্পৰৰ ওপৰত বিকৰ্ষণ বল প্ৰয়োগ কৰে।

পদাৰ্থ যে অবিচ্ছিন্ন নহয় সেয়া পৃথিৱীৰ বিভিন্ন

সভ্যতাৰ লোকে জানিছিল। ভাৰতবৰ্ষত কণাদ (Kanada) নামৰ এগৰাকী মুনি আৰু গ্ৰীচত ডেম'ক্ৰিটাছ (Democritus) নামৰ এগৰাকী দাৰ্শনিকে মত পোষণ কৰিছিল যে পদাৰ্থ হয়তো কিছুমান অবিভাজ্য কণিকাৰে গঠিত। সেয়ে হ'লেও 'পাৰমাণৱিক তত্ত্ব' (Atomic Theory) বোলা বিজ্ঞানভিত্তিক ধাৰণাটো প্ৰৱৰ্তনৰ স্বীকৃতি দিয়া হয় জন ডেল্ট'নক (John Dalton)। ভিন ভিন মৌলই যিবোৰ নিৰ্দিষ্ট অনুপাতৰ বিধি মানি লগ লাগি যৌগৰ সৃষ্টি কৰে সেয়া ব্যাখ্যা কৰিবলৈ ডেল্ট'নে পাৰমাণৱিক তত্ত্বটো আগবঢ়াইছিল। যৌগ সৃষ্টিৰ প্ৰথম বিধিটোৰ মতে এক নিৰ্দিষ্ট যৌগত তাৰ উপাদানবোৰ সদায় সিহঁতৰ ভৰৰ এক নিৰ্দিষ্ট অনুপাতত লগ লাগি থাকে। দ্বিতীয় বিধিটোৰ মতে দুটা মৌলই যদি একাধিক যৌগৰ সৃষ্টি কৰে তেন্তে যৌগবোৰত থকা এটা মৌলৰ এক নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ সৈতে আনটো মৌলৰ যি ভৰ লগ লাগি থাকে তাৰ অনুপাত কিছুমান সৰু সৰু অখণ্ড সংখ্যা।

এই বিধি দুটাৰ ব্যাখ্যা দিবলৈ আজিৰ পৰা প্ৰায় 200 বছৰ পূৰ্বে ডেল্ট'নে এইবুলি মত আগবঢ়ালে যে মৌলৰ ক্ষুদ্ৰতম অংশটো হ'ল পৰমাণু। এক বিশেষ মৌলৰ পৰমাণুবোৰ পৰস্পৰৰ সৈতে সম্পূৰ্ণ একে। আনহাতে ভিন ভিন মৌলৰ পৰমাণুবোৰো ভিন ভিন। যৌগ এটাত থকা মৌলবোৰৰ প্ৰত্যেকৰে এক নিৰ্দিষ্ট সংখ্যক পৰমাণু লগ লাগি যৌগটোৰ এটা অণুৰ সৃষ্টি কৰে। ঊনৈশ শতিকাৰ আৰম্ভণিত প্ৰচলিত হোৱা গেই লুছাকৰ বিধিৰ (Gay Lussac's law) মতে একাধিক গেছৰ বিক্ৰিয়া ঘটি অইন এটা গেছ উৎপন্ন হওঁতে গেছকেইটাৰ আয়তন লঘিষ্ঠ অখণ্ড সংখ্যাৰ অনুপাতত থাকে। এভ'গেড্ৰ'ৰ বিধিৰ মতে একে উষ্ণতা আৰু চাপত থকা সমান সমান আয়তনৰ ভিন ভিন গেছত একে সংখ্যক অণু থাকে। এভ'গেড্ৰ'ৰ বিধিত ডেলটে'নৰ তত্ত্ব প্ৰয়োগ কৰি গেই লুছাকৰ বিধিত উপনীত হ'ব পাৰি। মৌলবোৰ সাধাৰণতে অণুৰে গঠিত। সেয়ে ডেল্ট'নৰ পাৰমাণৱিক তত্ত্বটোক আণৱিক তত্ত্ব বুলিও কোৱা হয়। তত্ত্বটো বৰ্তমান বিজ্ঞান সমাজত সন্দেহাতীতভাৱে প্ৰতিষ্ঠিত। সেয়ে হ'লেও আন ঊনৈশ শতিকাৰ শেষলৈকে কেবাগৰাকী প্ৰখ্যাত বিজ্ঞানীয়ে পাৰমাণৱিক তত্ত্বত বিশ্বাস কৰা নাছিল!

বৰ্তমান কালৰ বিভিন্ন পৰ্যবেক্ষণৰ পৰা দেখা গৈছে যে পদাৰ্থ অণুৰে গঠিত (অণু একোটাত এক বা একাধিক পৰমাণু থাকিব পাৰে)। ইলেকট্ৰন মাইক্ৰ'স্কপৰ সহায়ত অণুৰ ছবিও ল'ব পাৰি। পৰমাণু একোটাৰ আকাৰ প্ৰায় এক এংষ্ট্ৰ'ম (10^{-10} m)। গোটা পদাৰ্থত পৰমাণুবোৰ পৰস্পৰৰ সৈতে নিকপকপীয়াকৈ বান্ধ খাই থাকে, আৰু তেনে পদাৰ্থত পৰমাণুবোৰৰ পৰস্পৰৰ মাজৰ দূৰত্ব কেইএংষ্ট্ৰমমান (2Å) হয়। জুলীয়া পদাৰ্থতো পৰমাণুৰ মাজৰ দূৰত্ব অনুৰূপ, কিন্তু পৰমাণুৰ মাজত বান্ধোনবোৰ ঢিলা। সেয়ে জুলীয়া পদাৰ্থত পৰমাণুবোৰ ইফাল-সিফালকৈ ঘূৰি ফুৰিব পাৰে। এই কাৰণেই জুলীয়া পদাৰ্থ বৈ যাব পাৰে। গেছৰ ক্ষেত্ৰত পৰমাণুবোৰৰ পৰস্পৰৰ মাজৰ দূৰত্ব গোটা আৰু জুলীয়া পদাৰ্থৰ তুলনাত বহু বেছি। অণু একোটাই সংঘাত নোহোৱাকৈ গড়ে যিমান দূৰ গতি কৰে তাক **গড় মুক্ত পথ** (mean free path) বোলে। গেছৰ ক্ষেত্ৰত গড় মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য কেবাহেজাৰ এংষ্ট্ৰ'ম হ'ব পাৰে। গেছত পৰমাণুবোৰ তুলনামূলকভাৱে যথেষ্ট মুক্ত। সেয়ে সিহঁতে সংঘাত নঘটাকৈ যথেষ্ট দূৰত্ব অতিক্ৰম কৰিব পাৰে। পাত্ৰত আবদ্ধ অৱস্থাত নাৰাখিলে গেছ পাত্ৰৰ পৰা ওলাই যায়। গোটা আৰু জুলীয়া পদাৰ্থৰ ক্ষেত্ৰত পৰমাণুবোৰৰ মাজৰ হ্ৰস্ব দূৰত্বৰ বাবে আন্তঃপাৰমাণৱিক বলটো উপেক্ষা কৰিব নোৱাৰা বিধৰ হয়। দীৰ্ঘ দূৰত্বৰ আন্তঃপাৰমাণৱিক বলটোৱে আকৰ্ষণীয় ৰূপ লয়, আৰু হ্ৰস্ব দূৰত্বত ই বিকৰ্ষণী ৰূপ লয়। পৰমাণু দুটাৰ মাজৰ দূৰত্ব কেই এংষ্ট্ৰ'মমান হ'লে সিহঁতে পৰস্পৰক আকৰ্ষণ কৰে; আৰু দূৰত্বটো তাতোকৈ কম হ'লে সিহঁতে পৰস্পৰক বিকৰ্ষণ কৰে। বন্ধ পাত্ৰত থকা গেছ এবিধক বাহিৰৰ পৰা চালে স্থিৰে থকা যেন লাগিলেও পিছে ইয়াৰ অন্তৰ্ভাগ অস্থিৰ। সাম্য অৱস্থাত থকা গেছবিধক

গতি সাম্যত থকা বুলি কোৱা হয়। গতি সাম্যত অণুবোৰৰ মাজত সংঘাট ঘটে, আৰু সংঘাতত সিহঁতৰ বেগৰ পৰিৱৰ্তন ঘটে। গেছবিধৰ কেৱল গড় ধৰ্মবোৰহে গতি সাম্যত অপৰিৱৰ্তিত হৈ ৰয়।

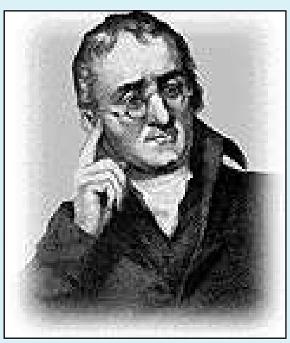
পাৰমাণৱিক তত্ত্ব আমাৰ অন্বেষণৰ অন্ত নহয়, বৰং আৰম্ভণিহে। বৰ্তমান আমি জানো যে পৰমাণুবোৰ অবিভাজ্য বা মৌলিক মুঠেও নহয়। পৰমাণুৰ ভিতৰত ইলেকট্ৰন আৰু নিউক্লিয়াছ থাকে। নিউক্লিয়াছটো নিজেও প্ৰ'টন আৰু নিউট্ৰ'নেৰে গঠিত। আনহাতে প্ৰট'ন আৰু নিউট্ৰ'নো কোৱাৰ্কেৰে (quark) গঠিত। কোৱাৰ্ক নিজেও পদাৰ্থৰ অন্তিম অৱস্থা নহ'ব পাৰে— ইহঁত নিজেও হয়তো ৰজ্জু (string) সদৃশ মৌলিক সত্ত্বাৰে গঠিত হ'ব পাৰে। প্ৰকৃতিয়ে নিজৰ বুকুত আমাৰ বাবে সদায় এটাৰ পাছত আন এটা আশ্চৰ্য সাঁচি থয়। সেয়ে হ'লেও সত্যানুসন্ধানৰ প্ৰক্ৰিয়া সাধাৰণতে আনন্দদায়ক হয় আৰু আৱিষ্কাৰবোৰ হয় সুন্দৰ। এই অধ্যায়টোত আমি গেছৰ (আৰু কিছু পৰিমাণে গোটা পদাৰ্থৰ) আচৰণ সম্বন্ধে আলোচনা কৰিম আৰু আমি কিছুমান সদা গতিশীল অণুৰ সমষ্টি বুলি ধৰি ল'ম।

13.3 গেছৰ আচৰণ (Behaviour of Gases)

গোটা আৰু জুলীয়া পদাৰ্থতকৈ গেছৰ ধৰ্মবোৰ বুজিবলৈ সহজ। ইয়াৰ প্ৰধান কাৰণ হ'ল গেছৰ অণুবোৰ পৰস্পৰৰ পৰা বহু নিলগত থাকে। সেয়ে সংঘাতৰ মুহূৰ্তৰ বাহিৰে অন্য অৱস্থাত গেছৰ অণুবোৰৰ মাজৰ বলবোৰ উপেক্ষা কৰিব পাৰি। নিম্ন চাপ আৰু উচ্চ উষ্ণতাত (গেছ তৰলীকৃত হোৱা অথবা গোট মাৰিব পৰা উষ্ণতাতকৈ বেছি উষ্ণতাত) গেছে সিহঁতৰ চাপ, উষ্ণতা আৰু আয়তনৰ মাজত এটা সৰল সম্বন্ধ মানি চলে। সেই সম্বন্ধটো হ'ল (একাদশ অধ্যায় চোৱা)

$$PV = KT \qquad (13.1)$$

সম্বন্ধটো এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ গেছৰ বাবে প্ৰযোজ্য। ইয়াত T হ'ল কেলভিন বা পৰম স্কেলত গেছবিধৰ উষ্ণতা আৰু K হ'ল নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ গেছৰ বাবে এটা ধ্ৰুৱক। ইয়াৰ মান গেছবিধৰ আয়তনৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ কৰে। এইখিনিতে যদি আমি পৰমাণু আৰু অণুৰ ধাৰণাটো অন্তৰ্ভুক্ত কৰোঁ তেন্তে K হ'ব সেই পৰিমাণ গেছত থকা অণুৰ সংখ্যা N (ধৰা হওঁক)ৰ সমানুপাতিক।



জন ডেল্ট'ন (John Dalton) (1766- 1844)

ডেল্ট'ন এগৰাকী ইংৰাজ ৰসায়নবিজ্ঞানী আছিল। ভিন ভিন ধৰণৰ পৰমাণুবোৰ লগ লাগি অন্য এটা পদাৰ্থৰ সৃষ্টি কৰোঁতে পৰমাণুবোৰে কিছুমান সৰল বিধি মানি চলে। ডেল্ট'নৰ পাৰমাণৱিক তত্ত্বই এই বিধিবোৰৰ সৰল ব্যাখ্যা দিয়ে। ডেল্ট'নে পাৰমাণৱিক তত্ত্বৰ লগতে বৰ্ণান্ধতাৰ (colour blindness) এটা তত্ত্বও আগবঢ়াইছিল।

এমেডিঅ' এভ'গেড্ৰ' (Amedeo Avogadro (1776 – 1856)

একে উষ্ণতা আৰু চাপত থকা একে আয়তনৰ ভিন ভিন গেছত একে সংখ্যক অণু থাকে বুলি এভ'গেড্ৰ'ই যুক্তিৰ ভিত্তিত পোষণ কৰা মতটো পাছলৈ শুদ্ধ বুলি প্ৰতিষ্ঠিত হ'ল। ইয়াক এভ'গেড্ৰ'ৰ বিধি বোলে। বিধিটোৰ সহায়ত অতি সহজে বিভিন্ন গেছৰ মাজত বিক্ৰিয়া বুজিব পাৰি। তেওঁ লগতে আঙুলিয়াই দিছিল যে হাইড্ৰ'জেন, অক্সিজেন আৰু নাইট্ৰ'জেনৰ দৰে গেছসমূহৰ ক্ষুদ্ৰতম অংশটো পৰমাণু নহয়, অণুহে।

সেয়ে আমি লিখিব পাৰোঁ $K = Nk$। পৰ্যবেক্ষণৰ পৰা ক'ব পাৰি যে সকলোবোৰ গেছৰ বাবে Kৰ মান একে। ইয়াক ব'ল্টজমেনৰ ধ্রুৱক (Boltzmann constant) বোলে আৰু k_Bৰে বুজোৱা হয়।

যিহেতু $$\frac{P_1V_1}{N_1T_1} = \frac{P_2V_2}{N_2T_2} = \text{ধ্রুৱক} = k_B \qquad (13.2)$$

কেবাটাও ভিন ভিন গেছৰ বাবে যদি P, V আৰু Tৰ মান একে কৰি লোৱা হয় তেন্তে আটাইকেইটা গেছৰ বাবে Nৰ মানো সমান হ'ব। ইয়েই হ'ল এভ'গেড্ৰ'ৰ বিধি ঃ **এক নিৰ্দিষ্ট উষ্ণতা আৰু চাপত সকলো গেছৰ একক আয়তনত সমানসংখ্যক অণু থাকে।** কোনো এটা গেছৰ 22.4 লিটাৰ আয়তনত 6.02×10^{23} সংখ্যক অণু বা পৰমাণু থাকে। এই সংখ্যাটোক এভ'গেড্ৰ'ৰ সংখ্যা (Avogadro's number) বোলে। ইয়াক N_A চিহ্নৰে বুজোৱা হয়। প্ৰমাণ উষ্ণতা আৰু চাপত (প্ৰমাণ উষ্ণতা = 273 K, প্ৰমাণ চাপ = 1 atm) যিকোনো গেছৰ 22.4 লিটাৰ আয়তনৰ ভৰ হ'ল গ্ৰামত প্ৰকাশ কৰা তাৰ আণৱিক ভৰৰ সমান। এই পৰিমাণৰ পদাৰ্থক এক ম'ল (1 mole) বোলে (ম'লৰ সম্পূৰ্ণ সংজ্ঞাৰ বাবে দ্বিতীয় অধ্যায় চোৱা)। স্থিৰ উষ্ণতা আৰু চাপত সম-আয়তনৰ গেছত সমসংখ্যক অণু পৰমাণু থকাৰ ধাৰণাটো এভ'গেড্ৰ'ই ৰাসায়নিক বিক্ৰিয়াৰ সহায়ত কল্পনা কৰি উলিয়াইছিল। গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বই এই ধাৰণাটোৰ যথাৰ্থতা প্ৰমাণ কৰে।

আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণটো তলত দিয়া ধৰণে লিখিব পাৰি।

$$PV = \mu\ RT \qquad (13.3)$$

ইয়াত μ হ'ল গেছবিধত থকা ম'লৰ সংখ্যা আৰু $R = N_A k_B$ হ'ল এটা সাৰ্বজনীন ধ্রুৱক। আনহাতে T হ'ল গেছবিধৰ পৰম উষ্ণতা। উষ্ণতাক পৰম স্কেলত জুখিলে সাৰ্বজনীন ধ্রুৱকটোৰ মান হ'ল $R = 8.314\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$।

ইয়াত

$$\mu = \frac{M}{M_0} = \frac{N}{N_A} \qquad (13.4)$$

ইয়াত M হ'ল N সংখ্যক অণু থকা গেছ এবিধৰ ভৰ, M_0 হ'ল গেছবিধৰ আণৱিক ভৰ (molar mass) আৰু N_A হ'ল এভ'গেড্ৰ'ৰ সংখ্যা। সমীকৰণ (13.4)ৰ সহায়ত সমীকৰণ (13.3)ক তলত দিয়া ধৰণেও প্ৰকাশ কৰিব পাৰি —

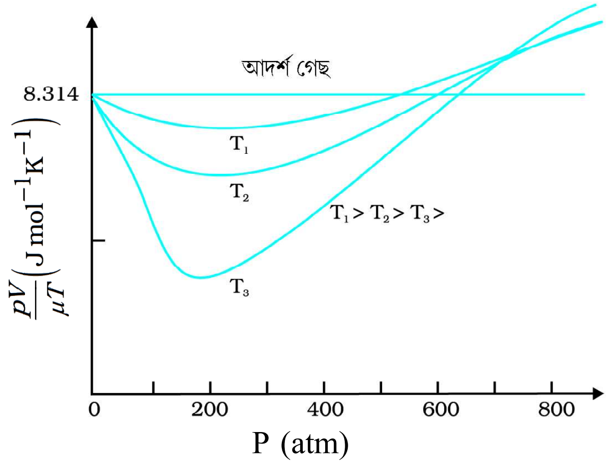
$$PV = k_B\, NT$$
$$\Rightarrow \quad P = k_B\, nT$$

ইয়াত n হ'ল প্ৰতি একক আয়তনত থকা অণুৰ সংখ্যা। k_B হ'ল পূৰ্বে উল্লেখ কৰা ব'ল্টজমেনৰ ধ্রুৱক। SI পদ্ধতিত ইয়াৰ মান হ'ল $1.38 \times 10^{-23}\ \text{J K}^{-1}$।

সমীকৰণ (13.3)ৰ আন এটা প্ৰয়োজনীয় ৰূপ হ'ল—

$$P = \frac{\rho RT}{M_0} \qquad (13.5)$$

ইয়াত ρ হ'ল গেছবিধৰ ঘনত্ব।



চিত্ৰ 13.1 *নিম্ন চাপ আৰু উচ্চ উষ্ণতাত প্ৰকৃত গেছৰ আচৰণ আদৰ্শ গেছৰ দৰে হ'বলৈ ধৰে।*

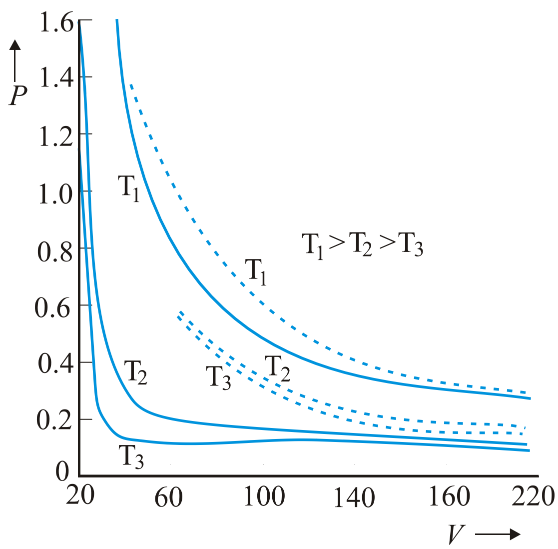
যিবোৰ গেছে সকলো চাপ আৰু উষ্ণতাত সমীকৰণ (13.3)ক সম্পূৰ্ণৰূপে মানি চলে তেনেবোৰ গেছক আদৰ্শ গেছ (ideal gas) বোলে। আদৰ্শ গেছ হ'ল গেছৰ এটা সৰল তাত্ত্বিক আৰ্হি। আমি জনা কোনো গেছেই আচলতে আদৰ্শ গেছ নহয়। তিনিটা ভিন ভিন উষ্ণতাত প্ৰকৃত গেছ (real gas) এটাৰ আচৰণ কিদৰে আদৰ্শ গেছ এটাৰ আচৰণৰ পৰা বিচ্যুত হয় তাকে চিত্ৰ 13.1ত

দেখুওৱা হৈছে। মন কৰা কেনেদৰে আটাইকেইটা লেখ নিম্ন চাপ আৰু উচ্চ উষ্ণতাত আদৰ্শ গেছৰ লেখৰ ওচৰ চাপে।

নিম্ন চাপ অথবা উচ্চ উষ্ণতাত গেছৰ অণুবোৰৰ মাজৰ দূৰত্ব যথেষ্ট বৃদ্ধি পায়। সেয়ে অণুবোৰৰ মাজৰ বল উপেক্ষণীয় হৈ পৰে। আন্তঃ আণৱিক বলৰ অনুপস্থিতিত গেছ এটাই আদৰ্শ গেছৰ দৰে আচৰণ কৰে।

সমীকৰণ (13.3)ত যদি μ আৰু Tৰ মান স্থিৰে ৰখা হয় তেন্তে আমি পাওঁ

$$PV = \text{ধ্ৰুৱক} \qquad (13.6)$$

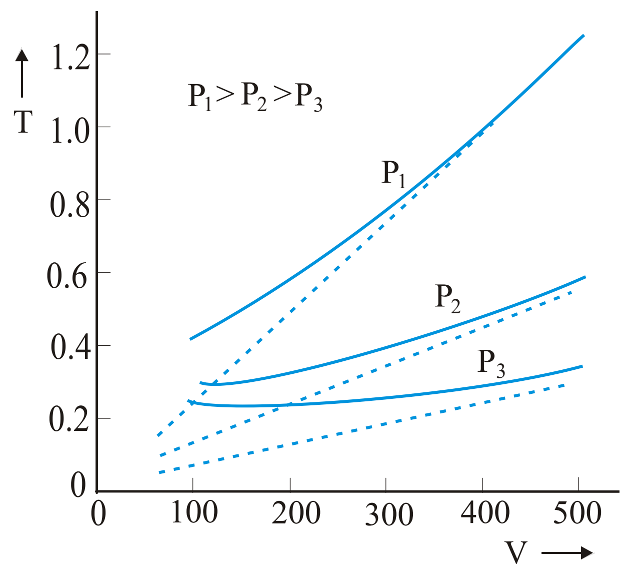


চিত্ৰ 13.2 *তিনিটা ভিন ভিন উষ্ণতাত পানীৰ বাষ্পৰ পৰীক্ষামূলক P-V লেখৰ (ডাঠ ৰেখাৰে অঁকা) সৈতে বয়লৰ বিধিৰ (ভঙা ৰেখাৰে অঁকা) সমিলমিল। ইয়াত Pৰ একক হ'ল 22 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ আৰু V ৰ একক 0.09 লিটাৰ।*

অৰ্থাৎ, স্থিৰ উষ্ণতাত কোনো নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ গেছৰ চাপ তাৰ আয়তনৰ ব্যস্তানুপাতিক। ইয়েই হ'ল বিখ্যাত বয়লৰ বিধি। চিত্ৰ *13.2*ত পৰীক্ষামূলক *P-V* লেখ আৰু বয়লৰ বিধিৰ পৰা পোৱা তাত্ত্বিক লেখবোৰৰ মাজৰ পাৰ্থক্য দেখুওৱা হৈছে। ইয়াতো দেখা যায় যে উচ্চ উষ্ণতা আৰু নিম্ন চাপত দুয়ো প্ৰকাৰ লেখৰ মাজৰ পাৰ্থক্য প্ৰায় নোহোৱা হৈ আছে। এইবাৰ যদি সমীকৰণ (*13.1*)ত *P*ৰ মান স্থিৰে ৰখা হয় তেন্তে $V \alpha T$, অৰ্থাৎ স্থিৰ চাপত গেছৰ আয়তন তাৰ পৰম উষ্ণতাৰ সমানুপাতিক। ই হ'ল চাৰ্লচৰ বিধি (Charles' law)। চিত্ৰ *13.3* চোৱা।

এইবাৰ ধৰা হওঁক আমি পৰস্পৰৰ সৈতে বিক্ৰিয়া নকৰা কেইবাটাও গেছৰ এটা মিশ্ৰণ লৈছোঁ ঃ 1 নং গেছৰ μ_1 ম'ল, 2 নং গেছৰ μ_2 ম'ল ইত্যাদি *V* আয়তনৰ পাত্ৰ এটাত *T* উষ্ণতা আৰু *P* চাপত লোৱা হৈছে। এইক্ষেত্ৰত মিশ্ৰণটোৰ অৱস্থাৰ সমীকৰণ হ'ব

$$PV = (\mu_1 + \mu_2 + \ldots)\, RT \qquad (13.7)$$



চিত্ৰ 13.3 *তিনিটা ভিন ভিন চাপত CO_2 গেছৰ পৰীক্ষামূলক T-V লেখৰ (ডাঠ ৰেখাৰে অঁকা) সৈতে চাৰ্লছৰ বিধিৰ (ভঙা ৰেখাৰে অঁকা) তুলনা কৰা হৈছে। T ক 300 Kৰ এককত আৰু V ক 0.13 লিটাৰৰ এককত জোখা হৈছে।*

অৰ্থাৎ $$P = \mu_1 \frac{RT}{V} + \mu_2 \frac{RT}{V} + \ldots \qquad (13.8)$$

$$= P_1 + P_2 + \ldots \qquad (13.9)$$

দেখদেখকৈ একে আয়তন আৰু উষ্ণতাৰ পৰিৱেশত $P_1 = \frac{\mu_1 RT}{V}$ হ'ল আন গেছৰ অনুপস্থিতিত 1নং গেছটোৱে দিয়া চাপ। ইয়াক প্ৰথম গেছটোৰ আংশিক চাপ (partial

pressure) বোলে। সমীকৰণ (13.9)ৰ পৰা দেখা যায় যে আদৰ্শ গেছৰ মিশ্ৰণ এটাই প্ৰয়োগ কৰা মুঠ চাপ মিশ্ৰণটোৰ গাইগুটীয়া গেছবোৰে প্ৰয়োগ কৰা আংশিক চাপৰ সমষ্টি। এইটোৱেই হ'ল ডেল্টনৰ আংশিক চাপৰ বিধি।

তলত চাৰিটা উদাহৰণ দিয়া হৈছে। তাৰে দুটাই আমাক গেছৰ এটা অণুৰ আয়তনৰ লগতে গেছটোৰ আটাইবোৰ অণুৱে আগুৰি ৰখা আয়তনৰ আভাস দিয়ে।

▶উদাহৰণ 13.1 পানীৰ ঘনত্ব হ'ল 1000 kg m^{-3}। 100 °C উষ্ণতা আৰু 1 atm চাপত জলীয় বাষ্পৰ ঘনত্ব হ'ল 0.6 kg m^{-3}। কোনো এবিধ গেছৰ এটা অণুৰ আয়তনক গেছটোত থকা মুঠ অণুৰ সংখ্যাৰে পূৰণ কৰিলে আণৱিক আয়তন পোৱা যায়। দিয়া উষ্ণতা আৰু চাপত আণৱিক আয়তন আৰু বাষ্পৰ আয়তনৰ অনুপাত নিৰ্ণয় কৰা।

উত্তৰ ঃ এক নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ পানীৰ অণুৰ ক্ষেত্ৰত যদি আয়তন বেছি হয় তেন্তে ইয়াৰ ঘনত্ব কম হ'ব। বাষ্পৰ আয়তন পানীৰ 1000/0.6 = $1/(6\times10^{-4})$গুণ। যদি পানীৰ ঘনত্ব আৰু পানীৰ অণুৰ আণৱিক ঘনত্ব একে হয় তেন্তে আণৱিক আয়তন আৰু পানীৰ আয়তনৰ অনুপাত হ'ব 1। যিহেতু বাষ্পীয় অৱস্থাত পানীৰ আয়তন অধিক, সেয়ে আণৱিক আয়তন আৰু বাষ্পৰ মুঠ আয়তনৰ অনুপাত হ'ব 6×10^{-4}।

▶উদাহৰণ 13.2 উদাহৰণ 13.1ত দিয়া তথ্যসমূহৰ ভিত্তিত পানীৰ অণু একোটাৰ আয়তন নিৰ্ণয় কৰা।

উত্তৰ ঃ পানী জলীয় অৱস্থা অথবা গোটা অৱস্থাত থাকিলে অণুবোৰ যথেষ্ট ওচৰা-ওচৰিকৈ বান্ধ খাই থাকে। সেয়ে পানীৰ ঘনত্বকে (= 1000 kg m^{-3}) পানীৰ অণুবোৰৰো ঘনত্ব বুলি ধৰি ল'ব পাৰি। এটা অণুৰ আয়তন নিৰ্ণয় কৰিবলৈ হ'লে পানীৰ এটা অণুৰ ভৰ আমি জানিব লগিব। আমি জানো যে 1 ম'ল পানীৰ ভৰ মোটামুটিকৈ (2 + 16)g = 18 g = 0.018 kg।

যিহেতু 1 ম'লত 6×10^{23} সংখ্যক কণিকা থাকে (এভ'গেড্ৰ'ৰ সংখ্যা), পানীৰ এটা অণুৰ ভৰ হ'ব $(0.018)/(6\times10^{23})$ kg $= 3\times10^{-26}$ kg। সেয়ে, পানীৰ এটা অণুৰ আয়তনৰ হিচাপ মোটামুটিকৈ তলত দিয়া ধৰণে কৰিব পাৰি—

পানীৰ এটা অণুৰ আয়তন

$$= (3\times10^{-26}\text{ kg})/(1000\text{ kg m}^{-3})$$
$$= 3\times10^{-29}\text{ m}^3$$
$$= \left(\frac{4}{3}\right)\pi\ (\text{ব্যাসাৰ্ধ})^3$$

এতেকে, ব্যাসাৰ্ধ $= 2\times10^{-10}$ m = 2Å।

▶উদাহৰণ 13.3 পানীৰ দুটা ওচৰা-ওচৰি অণুৰ মাজৰ দূৰত্ব (আন্তঃআণৱিক দূৰত্ব) কিমান? উদাহৰণ 13.1 আৰু 13.4ত উল্লেখ কৰা তথ্য ব্যৱহাৰ কৰিবা।

উত্তৰ ঃ এক নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ জলীয় বাষ্পৰ আয়তন একে ভৰৰ পানীৰ আয়তনৰ 1.67×10^3 গুণ (উদাহৰণ 13.1)। পানীৰ অণু এটাই জুলীয়া অৱস্থাৰ তুলনাত বাষ্পীয় অৱস্থাত 1.67×10^3 গুণ অধিক আয়তনৰ মুক্ত স্থান তাৰ চাৰিওফালে পায়। আয়তন 10^3 গুণ বৃদ্ধি পালে অণু এটাৰ ব্যাসাৰ্ধ $V^{1/3}$ অৰ্থাৎ 10 গুণ বৃদ্ধি পায়। গতিকে অণু এটাৰ পৰিৱৰ্তিত ব্যাসাৰ্ধ হ'ব 10 × 2 Å = 20 Å। অৰ্থাৎ দুটা অণুৰ মাজৰ গড় দূৰত্ব হ'ল 2 × 20 = 40 Å।

▶উদাহৰণ 13.4 এটা পাত্ৰত পৰস্পৰৰ সৈতে বিক্ৰিয়া নকৰা দুটা গেছ— নিয়ন (এক পাৰমাণৱিক) আৰু অক্সিজেন (দ্বিপাৰমাণৱিক)— লোৱা হৈছে। সিহঁতে প্ৰয়োগ কৰা আংশিক চাপৰ অনুপাত হ'ল 3:2। নিয়ন আৰু অক্সিজেনৰ (i) অণুৰ সংখ্যাৰ অনুপাত আৰু (ii) সিহঁতৰ ঘনত্বৰ অনুপাত নিৰ্ণয় কৰা। নিয়নৰ পাৰমাণৱিক ভৰ 20.2 u আৰু অক্সিজেনৰ আণৱিক ভৰ 32.0 u।

উত্তৰ ঃ পাত্ৰ এটাত লোৱা গেছৰ মিশ্ৰণ এটাৰ প্ৰতিটো

গেছৰ আংশিক চাপ হ'ল মিশ্ৰণটোৰ উষ্ণতাত গোটেই পাত্ৰটোত যদি মাত্ৰ এটা গেছ থাকিলহেঁতেন তেন্তে সেই গেছটোৱে পাত্ৰত অকলে প্ৰয়োগ কৰা চাপ। (পৰস্পৰৰ সৈতে বিক্ৰিয়া নকৰা একাধিক গেছৰ মিশ্ৰণ এটাই পাত্ৰত প্ৰয়োগ কৰা মুঠ চাপ হ'ল মিশ্ৰটোৰ প্ৰতিটো উপাংশই পাত্ৰত গাইগুটীয়াকৈ প্ৰয়োগ কৰা আংশিক চাপৰ যোগফল।) পাত্ৰত থকা প্ৰতিটো উপাংশ গেছেই আদৰ্শ গেছ বুলি ধৰি লোৱা হৈছে। প্ৰতিটো গেছেই আদৰ্শ গেছৰ বিধি মানে। যিহেতু মিশ্ৰটোৰ দুয়োটা গেছৰ বাবে V আৰু T একে, সেয়ে আমি পাওঁ $P_1V = \mu_1 RT$ আৰু $P_2V = \mu_2 RT$ অৰ্থাৎ $\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)$। ইয়াত *1* আৰু *2* ৰ দ্বাৰা ক্ৰমে নিয়ন আৰু অক্সিজেনক বুজোৱা হৈছে। যিহেতু $\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{3}{2}\right)$, সেয়ে $\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right) = \left(\frac{3}{2}\right)$।

(i) সংজ্ঞা মতে $\mu_1 = \left(\frac{N_1}{N_A}\right)$ আৰু $\mu_2 = \left(\frac{N_2}{N_A}\right)$;

ইয়াত N_1 আৰু N_2 হ'ল ক্ৰমে গেছ *1* আৰু *2* ৰ অণুৰ সংখ্যা, আৰু N_A হ'ল এভ'গেড্ৰ'ৰ সংখ্যা।

গতিকে আমি পাওঁ $\left(\frac{N_1}{N_2}\right) = \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right) = \frac{3}{2}$।

(ii) আমি লগতে জানো যে $\mu_1 = \left(\frac{m_1}{M_1}\right)$ আৰু $\mu_2 = \left(\frac{m_2}{M_2}\right)$; ইয়াত m_1 আৰু m_2 হ'ল গেছ 1 আৰু 2 ৰ ভৰ, আনহাতে M_1 আৰু M_2 হ'ল ক্ৰমে সিহঁতৰ আণৱিক ভৰ (এইক্ষেত্ৰত m_1 আৰু M_1; লগতে m_2 আৰু M_2ক একেটা এককত প্ৰকাশ কৰিব লাগে।) যদি ρ_1 আৰু ρ_2 গেছ 1 আৰু 2 ৰ ঘনত্ব হয় তেন্তে

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1 / V}{m_2 / V} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \times \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

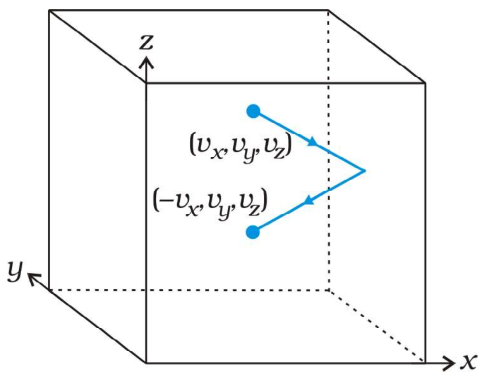
$$= \frac{3}{2} \times \frac{20.2}{32.0} = 0.947$$

13.4 আদৰ্শ গেছৰ গতিবাদ তত্ত্ব (Kinetic Theory of an Ideal Gas)

গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বৰ ভিত্তি হ'ল পদাৰ্থৰ আণৱিক তত্ত্ব। এক নিৰ্দিষ্ট পৰিমাণৰ গেছ হ'ল প্ৰকৃততে এক বৃহৎ সংখ্যক অণুৰ সমষ্টি (অণুৰ এই সংখ্যা সাধাৰণতে এভ'গেড্ৰ'ৰ সংখ্যাৰ সমকক্ষ)। গেছৰ অণুবোৰ বিৰামহীনভাৱে আৰু দ্ৰুতবেগে ইফাল-সিফালকৈ গতি কৰি থাকে। সাধাৰণ চাপ আৰু উষ্ণতাত যিকোনো দুটা অণুৰ মাজৰ দূৰত্ব অণু এটাৰ আকাৰৰ (2Å) 10 গুণ বা ততোধিক। এই দূৰত্বত দুটা অণুৰ মাজৰ ক্ৰিয়াশীল বল উপেক্ষা কৰিব পাৰি, আৰু আমি গেছৰ অণুবোৰে নিউটনৰ প্ৰথম সূত্ৰ অনুসৰি মুক্তভাৱে গতি কৰি থাকে বুলি ধৰি ল'ব পাৰোঁ। সেয়ে হ'লেও অণুবোৰ প্ৰায় পৰস্পৰৰ নিচেই ওচৰ চাপি আহে। তেনে অৱস্থাত এটা অণুৱে আন এটাৰ ওপৰত বল প্ৰয়োগ কৰে, আৰু সিহঁতৰ বেগৰ পৰিৱৰ্তন ঘটে। এই ঘটনাটোক অণুবোৰৰ মাজৰ সংঘাত বোলে। অণুবোৰৰ উপৰ্যুপৰি পৰস্পৰৰ সৈতে, আৰু লগতে পাত্ৰৰ বেৰৰ সৈতে সংঘাত ঘটে আৰু সিহঁতৰ বেগৰ পৰিৱৰ্তন ঘটে। সংঘাতবোৰ স্থিতিস্থাপক (elastic) বুলি ধৰা হয়। গতিবাদ তত্ত্বৰ ভিত্তিত আমি গেছৰ চাপৰ এটা প্ৰকাশৰাশি গণনা কৰি উলিয়াব পাৰোঁ।

আমাৰ গণনাৰ বাবে আমি আৰম্ভণিতে ধৰি ল'ম যে গেছৰ অণুবোৰ বিৰামহীনভাৱে যাদৃচ্ছিক (random) গতি কৰি থাকে, আৰু এনেদৰে গতি কৰি থকা অৱস্থাত সিহঁতে পৰস্পৰৰ সৈতে আৰু লগতে পাত্ৰৰ বেৰৰ সৈতে সংঘাত কৰে। অণুবোৰৰ পৰস্পৰৰ মাজৰ আৰু লগতে বেৰৰ সৈতে হোৱা সংঘাতবোৰ স্থিতিস্থাপক

প্ৰকৃতিৰ। ইয়াৰ অৰ্থ হ'ল অণুবোৰৰ মুঠ শক্তি সংৰক্ষিত হয়। লগতে সিহঁতৰ মুঠ ভৰবেগো সংৰক্ষিত হয়।



চিত্ৰ 13.4 *পাত্ৰ বেৰৰ সৈতে হোৱা গেছৰ অণুৰ স্থিতিস্থাপক সংঘাত।*

13.4.1 আদৰ্শ গেছৰ চাপ (Pressure of an Ideal Gas)

ধৰা, l দৈৰ্ঘৰ বাহুৰ ঘনাকৃতিৰ পাত্ৰ এটাত এবিধ গেছ লোৱা হৈছে। চিত্ৰ 13.4ত দেখুওৱাৰ দৰে ঘনকটোৰ পাৰ্শ্বৰ সমান্তৰালকৈ তিনিডাল অক্ষ লৈছে। গেছৰ অণু এটাই (v_x, v_y, v_z) বেগেৰে yz সমতলত থকা $A\ (= l^2)$ কালিৰ বেৰ এখনক খুন্দা মাৰে। সংঘাতটো স্থিতিস্থাপক হোৱাৰ বাবে অণুটোৱে সমান দ্ৰুতিৰে উফৰি আহে। সংঘাতত অণুটোৰ বেগৰ y আৰু z উপাংশ অপৰিৱৰ্তিত হৈ থাকে, কেৱল ইয়াৰ বেগৰ x উপাংশটোৰ দিশ বিপৰীত হৈ পৰে। অৰ্থাৎ, সংঘাতৰ পাছত অণুটোৰ বেগ হয় $(-v_x, v_y, v_z)$। অণুটোৰ ভৰবেগৰ পৰিৱৰ্তন হ'ল $-mv_x - (mv_x) = -2mv_x$। ভৰবেগৰ সংৰক্ষণৰ বিধি মতে সংঘাতটোত গেছৰ অণুটোৱে পাত্ৰৰ বেৰক প্ৰদান কৰা ভৰবেগ হ'ল $2mv_x$।

পাত্ৰৰ বেৰত প্ৰয়োগ হোৱা বল (আৰু লগতে চাপ) নিৰ্ণয় কৰিবলৈ একক সময়ত বেৰলৈ প্ৰদান কৰা ভৰবেগ উলিয়াব লাগিব। Δt সময়ৰ অন্তৰালত বেগৰ x উপাংশ v_x বিশিষ্ট অণু এটাই বেৰত খুন্দা মাৰিব যদিহে ই বেৰৰ পৰা $v_x \Delta t$ দূৰত্বৰ ভিতৰত থাকে অৰ্থাৎ বেৰৰ পৰা $Av_x \Delta t$ আয়তনৰ ভিতৰত থকা আটাইবোৰ অণুৱে বেৰখনক Δt সময়ৰ ভিতৰত খুন্দা মাৰিব পাৰিব। পিছে গড় হিচাপত এই আয়তনৰ ভিতৰত থকা আধাসংখ্যক অণুৱে বেৰখনৰ দিশে আৰু বাকী আধা সংখ্যকে বেৰখনৰ পৰা আঁতৰলৈ গতি কৰি থাকে। গেছৰ প্ৰতি একক আয়তনত থকা অণুৰ সংখ্যা n হ'লে $(-v_x, v_y, v_z)$ বেগৰ $\frac{1}{2} A\, v_x n \Delta t$ সংখ্যক অণুৱে Δt সময়ত বেৰখনত খুন্দা মাৰিব। এই সংখ্যক অণুৱে Δt সময়ত বেৰখনলৈ হস্তান্তৰ কৰা মুঠ ৰৈখিক ভৰবেগ হ'ল

$$Q = (2mv_x)\,(\tfrac{1}{2}\, n\, A\, v_x\, n\, \Delta t) \qquad (13.10)$$

অণুবোৰে বেৰখনৰ ওপৰত প্ৰয়োগ কৰা বল হ'ব $Q/\Delta t$ আৰু চাপ হ'ব (চাপ হ'ল প্ৰতি একক কালিৰ ওপৰত বল) ঃ

$$P = \frac{Q}{A \Delta t} = nmv_x^2 \qquad (13.11)$$

প্ৰকৃততে গেছ এবিধত থকা আটাইবোৰ অণুৱে একেটা বেগেৰে গতি নকৰে, অণুবোৰৰ বেগৰ এক বণ্টন (distribution) থাকে। অৰ্থাৎ সমীকৰণ (13.11)ত দিয়া চাপ হ'ল x অক্ষৰ দিশে v_x বেগেৰে গতি কৰা এচাম অণুৱে বেৰখনৰ ওপৰত প্ৰয়োগ কৰা চাপ আৰু n হ'ল একক আয়তনত থকা সেই চাম অণুৰ সংখ্যা। সেয়ে বেৰখনত প্ৰয়োগ হোৱা মুঠ চাপ উলিয়াবলৈ হ'লে অণুৰ ভিন ভিন গোটে প্ৰয়োগ কৰা চাপৰ গড় ল'ব লাগিব।

$$P = n\, m\, \overline{v_x^2} \qquad (13.12)$$

ইয়াত $\overline{v_x^2}$ হ'ল $v_x^{\,2}$ৰ গড় মান। গেছবিধ যিহেতু সমগুণী (isotropic), সেয়ে অণুবোৰৰ বেগৰ কোনো বিশেষ আৰু অগ্ৰাধিকাৰমূলক দিশ থাকিব নোৱাৰে। সেয়ে সমমিতিৰ (symmetry) দৃষ্টিকোণৰ পৰা আমি পাওঁ

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

$$= (1/3)\,[\,\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}\,] = \left(\frac{1}{3}\right)\overline{v^2} \qquad (13.13)$$

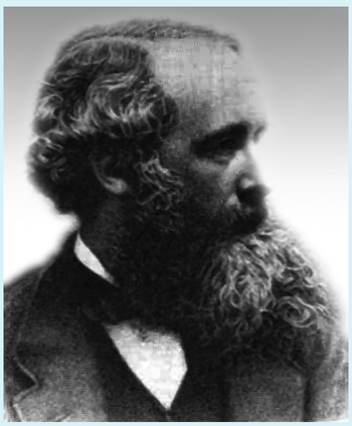
ইয়াত v হ'ল দ্ৰুতি আৰু $\overline{v^2}$ হ'ল দ্ৰুতিৰ বৰ্গৰ গড় মান।

গতিকে আমি পাম

$$P = \left(\frac{1}{3}\right) n\, m\, \overline{v^2} \qquad (13.14)$$

আমি ওপৰত কৰা গণনাটোৰ বিষয়ে কিছু আলোচনা কৰিম। আমি লোৱা গেছৰ পাত্ৰটো ঘনাকৃতিৰ আছিল যদিও পাত্ৰৰ আকৃতিৰ ওপৰত গণনা নিৰ্ভৰ নকৰে। যিকোনো আকৃতিৰ পাত্ৰৰ বাবে ক্ষুদ্ৰাতিক্ষুদ্ৰ সমতলপৃষ্ঠ এটা বাছি লৈ গণনাটো আগৰ দৰেই কৰি যাব পাৰোঁ। মন কৰা যে আমাৰ শেষ প্ৰকাশৰাশিটোত A আৰু Δt নাই। দশম অধ্যায়ত সন্নিবিষ্ট কৰা পাস্কেলৰ বিধি মতে সাম্য অৱস্থাত থকা এবিধ গেছৰ প্ৰতিটো বিন্দুতে চাপ একে। আমি আগবঢ়োৱা গণনা সম্পৰ্কীয়

গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বৰ প্ৰতিষ্ঠাপক



জেমছ ক্লাৰ্ক মেক্সৱেল (James Clerk Maxwell) (1831 – 1879) জন্ম স্কটলেণ্ডৰ এডিনবাৰ্গত, ঊনৈশ শতিকাৰ মহৎ পদাৰ্থ বিজ্ঞানীসকলৰ মাজৰ এজন। গেছৰ অণুবোৰৰ তাপপ্ৰসূত বেগৰ বণ্টনৰ (distribution) প্ৰকাশৰাশি তেওঁ গণনা কৰি উলিয়াইছিল। গেছৰ পৰিবাহিতা, সান্দ্ৰতা ইত্যাদি মাপক্ষম ৰাশিৰ দ্বাৰা তেঁৱেই প্ৰথমে অণুৰ বিভিন্ন বৈশিষ্ট্যৰ এক নিৰ্ভৰযোগ্য জোখ উলিয়াইছিল। পিছে বিদ্যুৎ আৰু চুম্বকত্বৰ বিধিবোৰৰ মাজৰ গাণিতিক সম্বন্ধবোৰৰ উদ্ভাৱন আছিল পদাৰ্থবিজ্ঞানলৈ মেক্সৱেলে আগবঢ়োৱা তেওঁৰ শ্ৰেষ্ঠ অৱদান। কুলম্ব, অ'ৰষ্টেড, এম্পিয়াৰ আৰু ফেৰাডেয়ে আৱিষ্কাৰ কৰা ক্ৰমে বিদ্যুৎ আৰু চুম্বকত্বৰ গাণিতিক বিধিবোৰৰ মাজৰ সমন্বয় স্থাপন কৰি মেক্সৱেলে উদ্ভাৱন কৰা সমীকৰণবোৰক আজি মেক্সৱেলৰ সমীকৰণ (Maxwell's equations) বুলি জনা যায়। এই সমীকৰণবোৰৰ সহায়ত মেক্সৱেলে এটা অতি অভিনৱ সিদ্ধান্ত স্থাপন কৰে। সেইটো হ'ল— পোহৰ এবিধ বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তৰংগ (electromagnetic wave)। এই সন্দৰ্ভত উল্লেখ কৰিব পাৰি যে বিদ্যুৎ এবিধ কণিকাৰূপী শক্তি (ফেৰাডেৰ বিদ্যুৎ বিশ্লেষণ বিধি দুটাই আঙুলিয়াই দিয়াৰ দৰে) বুলি মেক্সৱেলে মানি লোৱা নাছিল।

লাডউইগ বল্টজমেন (Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) অষ্ট্ৰিয়াৰ ভিয়েনা চহৰত জন্ম। গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বৰ ওপৰত তেওঁ নিজাববীয়াকৈ গৱেষণা কৰিছিল আৰু মেক্সৱেলেও একেটা তত্ত্বৰ ওপৰত নিজৰ গৱেষণা চলাই আছিল। সেয়া ব'ল্টজমেনে সেই সময়ত জনা নাছিল। পদাৰ্থ যে পৰমাণুৰে গঠিত সেই বিষয়ে ব'ল্টজমেনৰ দৃঢ় বিশ্বাস আছিল। পদাৰ্থৰ পাৰমাণৱিক গঠনৰ ধাৰণাটোৱেই দৰাচলতে গেছৰ গতিবাদৰ ভিত্তি। তেওঁ তাপগতিবিজ্ঞানৰ (thermodynamics) দ্বিতীয় বিধি আৰু তাৰ সৈতে জড়িত এণ্ট্ৰ'পিৰ (entropy) ধাৰণাটোৰ পাৰিসাংখ্যিক ব্যাখ্যা আগবঢ়াইছিল। ব'ল্টজমেনক ধ্ৰুপদী পাৰিসাংখ্যিক বলবিজ্ঞানৰ (classical statistical mechanics) এগৰাকী প্ৰতিষ্ঠাতা বুলি গণ্য কৰা হয়। গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বত গেছৰ গতি শক্তি আৰু উষ্ণতাৰ মাজত সম্পৰ্ক স্থাপন কৰা সমীকৰণটোত থকা সমানুপাতিক ধ্ৰুৱকটোক তেওঁৰ সন্মানাৰ্থে ব'ল্টজমেনৰ ধ্ৰুৱক (Boltzmann's constant) নাম দিয়া হৈছে।

দ্বিতীয় কথাটো হ'ল যে গণনাত আমি অণুবোৰে কৰা সংঘাত বিবেচনা কৰা নাই। এই সম্পৰ্কে এক গ্ৰহণযোগ্য যুক্তি আগবঢ়োৱা কঠিন যদিও সংঘাতবোৰ বিবেচনা নকৰিলেও আমাৰ অন্তিম প্ৰকাশৰাশিত কোনো প্ৰভাৱ নপৰে বুলি অগাণিতিক ব্যাখ্যা এটা দিব পাৰি। পাত্ৰৰ বেৰত Δt সময়ত খুন্দা মৰা অণুৰ সংখ্যা হ'ল ½ $Av_x n\Delta t$। সংঘাতবোৰৰ ফলত (v_x, v_y, v_z) বেগেৰে গতি কৰা অণু এটাৰ বেগ সলনি হ'লেও অন্য কোনোবা এটা অণুৱে এই বেগটো সেই মুহূৰ্তত আহৰণ কৰিব। অন্যথাই অণুবোৰৰ বেগৰ বিন্যাস সলনি হৈ পৰিব। তদুপৰি আমাৰ বাবে অৰ্থপূৰ্ণ ৰাশিটো $\overline{v_x^2}$ হে। গতিকে, অণুবোৰৰ সংঘাত যদি সঘনে নহয়, আৰু যদি দুটা ক্ৰমিক সংঘাতৰ মাজৰ সময়ৰ তুলনাত সংঘাত ঘটা সময় যথেষ্ট কম হয় তেন্তে সংঘাতে আমাৰ গণনাত কোনো প্ৰভাৱ নেপেলায়।

13.4.2 উষ্ণতাৰ গতিভিত্তিক ব্যাখ্যা (Kinetic Interpretation of Temperature)

সমীকৰণ (13.14)ক তলত দিয়া ধৰণে লিখিব পাৰি ঃ

$$PV = \left(\frac{1}{3}\right) nV m \overline{v^2} \qquad (13.15a)$$

$$PV = \left(\frac{2}{3}\right) N m \frac{1}{2} m \overline{v^2} \qquad (13.15b)$$

ইয়াত $N (= nV)$ হ'ল নিৰ্দিষ্ট গেছটোত থকা অণুৰ সংখ্যা। বন্ধনীৰ ভিতৰত থকা ৰাশিটো হ'ল গেছটোৰ অণুবোৰৰ গড় ৰৈখিক গতি শক্তি। গেছৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি E যিহেতু সম্পূৰ্ণৰূপে গতি শক্তিৰ পৰা আহে, সেয়ে*

$$E = N\left(\frac{1}{2}\right) m \overline{v^2} \qquad (13.16)$$

সেয়ে সমীকৰণৰ (13.15) পৰা আমি পাওঁ

$$PV = \left(\frac{2}{3}\right) E \qquad (13.17)$$

এতিয়া আমি উষ্ণতাক গতিৰ সহায়ত ব্যাখ্যা কৰিম। আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণ (সমীকৰণ (13.3) সৈতে সমীকৰণ (13.17)ক ব্যৱহাৰ কৰি আমি পাওঁ

$$E = \left(\frac{3}{2}\right) k_B NT \qquad (13.18)$$

$$\frac{E}{N} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \left(\frac{3}{2}\right) k_B T \qquad (13.19)$$

অৰ্থাৎ অণু এটাৰ গড় গতি শক্তি গেছটোৰ উষ্ণতাৰ সমানুপাতিক; লগতে ই গেছটোৰ চাপ, আয়তন আৰু গেছটোৰ প্ৰকৃতিৰ (অৰ্থাৎ একপাৰমাণৱিক, দ্বিপাৰমাণৱিক ইত্যাদি) ওপৰত নিৰ্ভৰশীল নহয়। ই হ'ল গেছটোৰ আণৱিক ধৰ্ম এটাৰ— এইক্ষেত্ৰত অণুৰ গড় গতি শক্তি— সৈতে তাৰ উষ্ণতাৰ সম্বন্ধ দেখুওৱা এটা মৌলিক ফলাফল (উষ্ণতা, চাপ আদিক তাপগতিভিত্তিত চলক অথবা গেছ এটাৰ স্থূল মাপ্য ৰাশি বুলি কয়)। গেছ এটাৰ অণুবোৰৰ আচৰণৰ সৈতে গেছটোৰ স্থূল ধৰ্মৰ সমন্বয় ঘটায় ব'ল্টজমেনৰ ধ্ৰুৱকে। এইখিনিত আন এটা কথা মন কৰিব পাৰি— সমীকৰণ (13.18)ত দেখা যায় যে আদৰ্শ গেছ এটাৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি গেছটোৰ একমাত্ৰ উষ্ণতাৰ ওপৰতহে নিৰ্ভৰ কৰে; চাপ অথবা আয়তনৰ ওপৰত নহয়। উষ্ণতাৰ এই ব্যাখ্যাৰ অন্তত ক'ব পাৰি যে আদৰ্শ গেছৰ বিধি আৰু ইয়াৰ ওপৰত ভিত্তি কৰি প্ৰতিষ্ঠা কৰা বিভিন্ন বিধিৰ সিদ্ধান্তবোৰৰ সৈতে গেছৰ গতিবাদৰ সিদ্ধান্তবোৰৰ সামঞ্জস্য আছে।

পৰস্পৰৰ সৈতে বিক্ৰিয়া নকৰা কেবাবিধো আদৰ্শ গেছৰ মিশ্ৰণ এটাই দিয়া মুঠ চাপ হ'ল প্ৰকৃততে মিশ্ৰণৰ প্ৰতিবিধ গেছৰ চাপৰ যোগফল। সমীকৰণ (13.14)ক মিশ্ৰণৰ বাবে তলত দিয়া ধৰণে লিখিব পাৰি—

* *E হ'ল আভ্যন্তৰীণ শক্তিৰ Uৰ কেৱল ৰৈখিক গতিৰ অংশটোহে— অন্য স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ বাবে Uত অন্য শক্তিও থাকিব পাৰে। দফা 13.5 চোৱা।*

$$P = \left(\frac{1}{3}\right) [n_1 m_1 \overline{v_1^2} + n_2 m_2 \overline{v_2^2} + \ldots\ ] \qquad (13.20)$$

সাম্য অৱস্থাত প্ৰতিবিধ গেছৰ অণুবোৰৰ গড় গতি শক্তি সমান হ'ব। অৰ্থাৎ

$$\frac{1}{2} m_1 \overline{v_1^2} = \frac{1}{2} m_2 \overline{v_2^2} = \left(\frac{3}{2}\right) k_B T$$

সেয়ে

$$P = (n_1 + n_2 + \ldots\ ) k_B T \qquad (13.21)$$

এই সমীকৰণটো আংশিক চাপ সম্পৰ্কীয় ডেল্ট'নৰ বিধি।

সমীকৰণ (13.19)ৰ সহায়ত গেছ এটাত থকা একোটা অণুৰ সাধাৰণ বেগৰ মান সম্বন্ধে আমি এটা আভাস পাব পাৰোঁ। T = 300 K উষ্ণতাত নাইট্ৰ'জেন গেছৰ এটা অণুৰ গড় বৰ্গ দ্ৰুতি হ'ল—

$$m = \frac{M_{N_2}}{N_A} = \frac{28}{6.02 \times 10^{26}} = 4.65 \times 10^{-26}\ \text{kg.}$$

$$\overline{v^2} = 3\, k_B T / m = (516)^2\ \text{m}^2\text{s}^{-2}$$

$\overline{v^2}$ ৰ বৰ্গমূল মানটোক গড় বৰ্গমূল মান বোলে, আৰু ইয়াক v_{rms} ৰে বুজোৱা হয় (আমি $\overline{v^2}$ ক $< v^2 >$ চিহ্নৰেও বুজাব পাৰোঁ)।

$$\therefore v_{rms} = 516\ \text{m s}^{-1}$$

এই দ্ৰুতি বায়ুত শব্দৰ দ্ৰুতিৰ সমপৰ্যায়ৰ। সমীকৰণ (13.19)ৰ পৰা লগতে দেখা যায় যে এক নিৰ্দিষ্ট উষ্ণতাত গধুৰ অণুৰ তুলনাত লঘুতৰ অণুৰ গড় বৰ্গমূল (rms) দ্ৰুতি বেছি।

▶উদাহৰণ 13.5 ফ্লাছক্ এটাত আৰ্গন আৰু ক্ল'ৰিণ গেছ সিহঁতৰ ভৰৰ 2:1 অনুপাতত লোৱা হৈছে। মিশ্ৰণটোৰ উষ্ণতা হ'ল 27 °C। গেছ দুটাৰ প্ৰতিটো অণুৰ (i) গড় গতি শক্তি আৰু (ii) গড় বৰ্গমূল দ্ৰুতি v_{rms} ৰ অনুপাত নিৰ্ণয় কৰা। আৰ্গন আৰু ক্ল'ৰিণৰ ক্ৰমে পাৰমাণৱিক ভৰ আৰু আণৱিক ভৰ হ'ল 39.9 u আৰু 70.9 u।

উত্তৰ ঃ এইক্ষেত্ৰত মন কৰিবলগীয়া কথাটো হ'ল যিকোনো আদৰ্শ গেছৰ (গেছটো আৰ্গনৰ দৰে একপাৰমাণৱিক, অথবা ক্লৰিণৰ দৰে দ্বিপাৰমাণৱিক অথবা বহুপাৰমাণৱিক হ'ব পাৰে) প্ৰতিটো অণুৰ গড় গতি শক্তি সদায় (3/2) $k_B T$। ৰাশিটো কেৱল গেছৰ উষ্ণতাৰ ওপৰতহে নিৰ্ভৰশীল, গেছৰ প্ৰকৃতিৰ ওপৰত নহয়।

(i) ফ্লাস্কটোৰ ভিতৰত আৰ্গন আৰু ক্লৰিণৰ উষ্ণতা যিহেতু সমান, সেয়ে গেছ দুটাৰ প্ৰতিটো অণুৰ গড় গতি শক্তিৰ অনুপাত হ'ব 1:1।

(ii) প্ৰতিটো অণুৰ গড় গতি শক্তি ½ $m\, v_{rms}^2$ = (3/2) $k_B T$। ইয়াত m হ'ল অণুটোৰ ভৰ। সেয়ে,

$$\frac{(\mathbf{v}^2_{rms})_{Ar}}{(\mathbf{v}^2_{rms})_{Cl}} = \frac{(m)_{Cl}}{(m)_{Ar}} = \frac{(M)_{Cl}}{(M)_{Ar}} = \frac{70.9}{39.9} = 1.77$$

ইয়াত M হ'ল গেছটোৰ আণৱিক ভৰ (আৰ্গনৰ ক্ষেত্ৰত অণুটো প্ৰকৃততে এটা পৰমাণুহে)। দুয়োফালে বৰ্গমূল ল'লে

$$\frac{(V_{rms})_{Ar}}{(V_{rms})_{Cl}} = 1.33$$

মন কৰিবলগীয়া যে ওপৰত দিয়া গণনাত গেছ মিশ্ৰণত ভিন ভিন কি ভৰ অন্তৰ্ভুক্ত হৈ আছে সেয়া প্ৰাসংগিক নহয়। যদি উষ্ণতা একে থাকে তেন্তে আৰ্গন আৰু ক্ল'ৰিণৰ আন যিকোনো ভৰেও (i) আৰু (ii)ৰ বাবে একেটা ফলেই দিব।

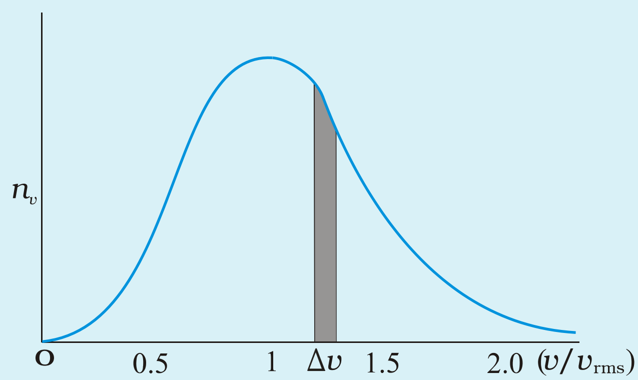
▶উদাহৰণ 13.6 ইউৰেনিয়ামৰ দুটা বিশেষ আইছ'টপৰ ভৰ হ'ল ক্ৰমে 235 আৰু 238 একক। ইউৰেনিয়াম হেক্সাফ্ল'ৰাইড গেছত যদি দুয়োবিধ আইছ'টপ থাকে তেন্তে কাৰ গড় দ্ৰুতি অধিক হ'ব ? ফ্ল'ৰিণৰ পাৰমাণৱিক ভৰ 19 হ'লে এক নিৰ্দিষ্ট উষ্ণতাত 235 একক আৰু 238 ভৰ এককেৰে গঠিত ইউৰেনিয়াম হেক্সাফ্ল'ৰাইড অণুৰ দ্ৰুতিৰ শতকৰা পাৰ্থক্য নিৰ্ণয় কৰা।

মেক্সৱেলৰ বণ্টন ফলন

(Maxwell Distribution Function)

নিৰ্দিষ্ট ভৰৰ গেছ এবিধত থকা আটাইবোৰ অণুৰ বেগ একে নহয়, যদিও গেছটোৰ চাপ, আয়তন আৰু উষ্ণতাৰ দৰে স্থূল চলকবোৰ স্থিৰ থাকে। সংঘাতত গেছৰ অণুবোৰৰ দ্ৰুতি আৰু গতিৰ দিশ সলনি হয়। পিছে সাম্য অৱস্থাত থকা এবিধ গেছৰ অণুবোৰৰ দ্ৰুতিৰ বণ্টন (distribution) একে থাকে।

বৃহৎসংখ্যক বস্তু থকা প্ৰণালীবোৰৰ ধৰ্মৰ আলোচনাত বণ্টনৰ ধাৰণাটো যথেষ্ট গুৰুত্বপূৰ্ণ আৰু প্ৰয়োজনীয়। উদাহৰণস্বৰূপে আমি চহৰ এখনত থকা বাসিন্দাসকলৰ বয়সৰ কথা ক'ব পাৰো। চহৰখনৰ প্ৰতিগৰাকী ব্যক্তিৰ বয়স গাইগুটীয়াকৈ জনা আমাৰ বাবে কঠিন। পিছে আমি মানুহখিনিক বয়সৰ কিছুমান গোটত ভগাই ল'ব পাৰোঁ ঃ ল'ৰা-ছোৱালীক 20 বছৰ বয়সলৈকে এটা গোটত, প্ৰাপ্তবয়স্কক 20ৰ পৰা 60 বছৰ পৰ্যন্ত আৰু প্ৰৌঢ়ক 60 বছৰৰ ঊৰ্ধ্বৰ গোটত। বাসিন্দাসকলৰ বয়স আৰু এটা সংখ্যা সম্পৰ্কে আমাক যদি অধিক পুংখানুপুংখ তথ্যৰ প্ৰয়োজন হয় তেন্তে প্ৰতিটো গোটৰ বয়সৰ অন্তৰালটো আমি অধিক সৰু কৰি ল'ব পাৰো, যেনে 0-1, 1-2,..., 99-100 বছৰৰ গোট। অন্তৰালবোৰৰ পৰিসৰ হ্ৰাস হ'লে প্ৰতিটো গোটত থকা বাসিন্দাৰ সংখ্যাও সেই অনুপাতে হ্ৰাস হ'ব পাৰে। x বছৰ আৰু x+dx বছৰৰ ব্যৱধানত থকা ব্যক্তিৰ সংখ্যা d$N(x)$ হ'ল dxৰ সমানুপাতিক। অৰ্থাৎ d$N(x)$ = n_x dx। ইয়াত n_x হ'ল x বয়সৰ ব্যক্তিৰ সংখ্যা।



আণৱিক দ্ৰুতিৰ মেক্সৱেলৰ বণ্টন।

ওপৰত দিয়া পদ্ধতিটোৰ দৰে আগবাঢ়ি গৈ দেখুৱাব পাৰি যে v আৰু v+ dv দ্ৰুতিৰ ভিতৰত থকা অণুৰ সংখ্যা হ'ল d$N(v) = 4p\, N\, a^3 e^{-bv^2} v^2$ dv = n_vdv। ইয়াক দ্ৰুতিৰ মেক্সৱেলৰ বণ্টন বোলে। ছবিত v আৰু n_vৰ লেখ দেখুওৱা হৈছে। ছবিত দেখুওৱা পাৰ্টিটোৰ কালিয়ে v আৰু v+ dv দ্ৰুতিৰ অন্তৰালৰ ভিতৰত থকা অণুৰ সংখ্যা বুজাইছে। আমি সাধাৰণতে v^2ৰ দৰে যিকোনো ৰাশিৰ গড়ৰ সংজ্ঞা এনেদৰে দিওঁ $<v^2> = (1/N)$।

$$\int v^2 dN(v) = \sqrt{(3k_B T/m)}$$

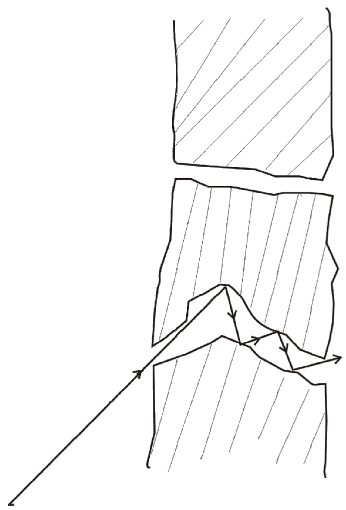
অন্য উজু পদ্ধতিৰে v^2 ৰ গড় উলিয়ালেও তাৰ মান আমি পোৱা মানৰ সমান বুলি দেখা যায়।

উত্তৰ ঃ স্থিৰ উষ্ণতাত অণু এটাৰ গড় শক্তি = ½ $m <v^2>$ এটা ধ্ৰুৱক। অণুৰ ভৰ যিমানে সৰু হয় তাৰ দ্ৰুতিও সিমানে বাঢ়ে। দ্ৰুতিৰ অনুপাত ভৰৰ বৰ্গমূলৰ ব্যস্তানুপাতিক। এইক্ষেত্ৰত উল্লেখ কৰা অণু দুবিধৰ ভৰ হ'ব ক্ৰমে 349 একক আৰু 352 একক। সেয়ে,

$$\frac{v_{349}}{v_{352}} = \left(\frac{352}{349}\right)^{1/2} = 1.0044$$

গতিকে বেগৰ শতকৰা পাৰ্থক্য হ'ল $\frac{\Delta V}{V} = 0.44\ \%$

[^{235}U আইছ'ট'পবিধ পাৰমাণৱিক দ্বিভংগনত (nuclear fission) প্ৰয়োজন হয়। প্ৰাকৃতিক ইউৰেনিয়ামত পিছে ^{238}U আইছ'ট'পটোৰ অনুপাতহে বেছি। পাতল আইছ'ট'পটোক গধুৰতৰ আইছ'ট'পটোৰ পৰা পৃথক কৰিবলৈ সিহঁতৰ মিশ্ৰণটোক এটা ৰন্ধ্ৰযুক্ত চুঙাত ভৰাই



চিত্ৰ 13.5 *সৰন্ধ্ৰ বেৰ এখনৰ মাজেৰে সৰকি যোৱা অণু।*

লোৱা হয়। চুঙাটো ঠেক অথচ ডাঠ বেৰৰ হোৱা উচিত যাতে অণুবোৰে গাইগুটীয়াকৈ গতি কৰিব পাৰে আৰু ৰন্ধ্ৰৰ দীঘলীয়া সুৰংগৰ বেৰত খুন্দা খাই আগবাঢ়ে। ধীৰ গতিৰ অণুবোৰৰ তুলনাত দ্ৰুতবেগী অণুবোৰ চুঙাৰ বেৰেৰে অধিক সংখ্যাত সৰকি যাব। ফলত চুঙাৰ বাহিৰত গধুৰতৰ অণুৰ তুলনাত লঘুতৰ অণুৰ সংখ্যা অধিক হ'ব (চিত্ৰ 13.5)। প্ৰক্ৰিয়াটোক ইউৰেনিয়াম সমৃদ্ধকৰণ (enrichment) বোলে। আমি বৰ্ণনা কৰা ইউৰেনিয়াম সমৃদ্ধকৰণ প্ৰক্ৰিয়াটো বিশেষ ফলপ্ৰসূ নহয়। উপযুক্ত পৰিমাণৰ সমৃদ্ধকৰণৰ বাবে প্ৰক্ৰিয়াটো কেবাবাৰো চলিবলৈ দিব লাগে।]

▶**উদাহৰণ 13.7** (a) অণু (অথবা স্থিতিস্থাপক পদাৰ্থৰ বল) এটাই যেতিয়া এখন (প্ৰকাণ্ড) বেৰত খুন্দা মাৰে ই একেটা দ্ৰুতিৰে সংঘাতৰ পাছত উভতি যায়। হাতেৰে দৃঢ়ভাৱে ধৰি ৰখা বেট এখনত বল এটাই খুন্দা মাৰিলেও একেটা ঘটনাই ঘটে। পিছে বেটখন যদি আগুৱাই গৈ বলটোত খুন্দা মাৰে তেন্তে বলটো উভতি যোৱা দ্ৰুতিটো ভিন্ন হয়। এইক্ষেত্ৰত বলটো আগতকৈ দ্ৰুতভাৱে যাব নে মন্থৰ গতিত যাব? (স্থিতিস্থাপক সংঘাতৰ কথাবোৰ মনত পেলাবলৈ ষষ্ঠ অধ্যায় চোৱা)।
(b) চুঙাত থকা গেছ এবিধক পিষ্টনেৰে সংকুচিত কৰিলে গেছবিধৰ উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। দফা (a)ত উল্লেখ কৰা ঘটনাটোৰ সহায়ত গেছৰ গতিবাদ ব্যৱহাৰ কৰি ইয়াৰ এটা ব্যাখ্যা দিবলৈ চেষ্টা কৰা।
(c) সংকুচিত গেছ এটাই পিষ্টনটোক বাহিৰলৈ ঠেলি প্ৰসাৰিত হোৱা অৱস্থাত কি ঘটে পৰ্যবেক্ষণ কৰা।
(d) খেলত শচীন তেণ্ডুলকাৰে গধুৰ বেট ব্যৱহাৰ কৰে। ইয়াৰ ফলত তেওঁৰ কিবা সুবিধা হয় নেকি?

উত্তৰ ঃ (a) বেটৰ পাছফালে থকা উইকেটৰ তুলনাত বলটোৰ বেগ u বুলি ধৰা। উইকেট সাপেক্ষে বেটখনে যদি বলটোৰ দিশে V আপেক্ষিক বেগেৰে আগুৱাই যায় তেন্তে বেট সাপেক্ষে বলটোৰ আপেক্ষিক বেগ হ'ল $V + u$। গধুৰ বেটখনৰ সৈতে হোৱা সংঘাতৰ পাছত বেট সাপেক্ষে বলটোৰ আপেক্ষিক বেগ হ'ব $V + u$ আৰু এই বেগৰ দিশ বলটোৰ পূৰ্বৰ বেগৰ বিপৰীতে হ'ব। সেয়ে, উইকেট সাপেক্ষে, আৰু উইকেটৰ পৰা আঁতৰলৈ উফৰি যোৱা বলটোৰ বেগ হ'ব $V + (V + u) = 2V + u$। সংঘাতৰ পাছত সেয়ে, বলটোৰ গতিবেগ বৃদ্ধি পায়। গেছৰ অণু এটাৰ বাবে গতিবেগৰ এই বৃদ্ধিৰ অৰ্থ হ'ল গেছটোৰ উষ্ণতাৰ বৃদ্ধি।

এই উত্তৰটোৰ আধাৰত (b), (c) আৰু (d)ৰ উত্তৰ তুমি নিজে দিব পাৰিব লাগে।

(ইংগিত ঃ ঘটনালানিত সম্বন্ধবোৰ মন কৰিবা, পিষ্টন$\rightarrow$বেট, চুঙা$\rightarrow$উইকেট, অণু$\rightarrow$বল)

13.5 শক্তিৰ সমবিভাজনৰ নীতি (Law of Equipartition of Energy)

গেছৰ এটা অণুৰ গতি শক্তি হ'ল—

$$\varepsilon_t = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2 \quad (13.22)$$

T উষ্ণতাত তাপীয় সাম্যত থকা গেছ এবিধৰ গড় শক্তি হ'ব

$$\langle\varepsilon_t\rangle = \left\langle\frac{1}{2}mv_x^2\right\rangle + \left\langle\frac{1}{2}mv_y^2\right\rangle + \left\langle\frac{1}{2}mv_z^2\right\rangle = \frac{3}{2}k_BT \quad (13.23)$$

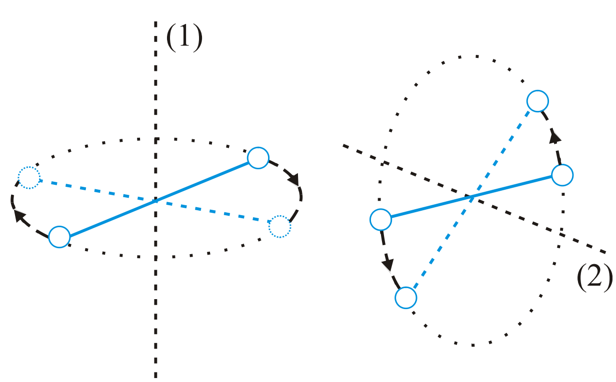
যিহেতু গেছৰ অণুবোৰৰ গতিৰ কোনো অগ্ৰাধিকাৰমূলক দিশ নাই, সেয়ে সমীকৰণ (13.23)ৰ পৰা আমি পাম

$$\left\langle\frac{1}{2}\ mv_x^2\right\rangle = \frac{1}{2}\ k_BT\ ,\left\langle\frac{1}{2}\ mv_y^2\right\rangle = \frac{1}{2}\ k_BT,$$

$$\left\langle\frac{1}{2}\ mv_z^2\right\rangle = \frac{1}{2}\ k_BT \quad (13.24)$$

মুক্তভাৱে বিচৰণ কৰি থকা গেছৰ অণু এটাৰ স্থান নিৰ্ণয় কৰিবলৈ তিনিটা স্থানাংকৰ প্ৰয়োজন হয়। অণুটোৰ গতি যদি এখন সমতলত আবদ্ধ হৈ থাকে তেন্তে প্ৰয়োজন হোৱা স্থানাংকৰ সংখ্যা হ'ব দুই, আৰু যদি ইয়াক এডাল সৰলৰেখাত গতি কৰিবলৈ বাধ্য কৰোৱা হয় তেন্তে স্থানাংকৰ সংখ্যা হ'ব মাত্ৰ এক। ওপৰৰ কথাখিনি আমি আন এক ধৰণেও ক'ব পাৰোঁ। অণুটোৱে সৰলৰেখাত গতি কৰিলে তাৰ স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা (degree of freedom) এক বুলি কোৱা হয়; এখন সমতলত গতি কৰিলে স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা দুই আৰু যদি মুক্তভাৱে শূন্যত গতি কৰে তেন্তে তিনি বুলি কোৱা হয়। বস্তু এটাৰ গোটেইটোৱে এটা বিন্দুৰ পৰা আন এটা বিন্দুলৈ গতি কৰিলে বস্তুটোৰ স্থানান্তৰ (translation) ঘটা বুলি কয়। সেয়ে, মুক্তভাৱে শূন্যত গতি কৰি থকা অণু এটাৰ স্থানান্তৰৰ তিনিটা স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা থকা বুলি ক'ব পাৰি। অণুটোৰ প্ৰতিটো স্থানান্তৰীয় স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ সৈতে ½ mv_x^2 লেখীয়া অণুটোৰ গতিৰ কোনোবা এটা চলকৰ বৰ্গ জড়িত থাকে। একেদৰে আন দুটা স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ বাবে v_y আৰু v_z থকা আন দুটা ৰাশিও থাকিব। সমীকৰণ (13.24)ত আমি দেখিবলৈ পাইছোঁ যে সাম্য অৱস্থাত থকা গেছৰ ক্ষেত্ৰত এনে ৰাশি একোটাৰ গড় মান হয় ½ k_BT।

আৰ্গনৰ দৰে একপাৰমাণৱিক গেছৰ অণুৰ কেৱল স্থানান্তৰীয় স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাহে থাকে। অক্সিজেন আৰু নাইট্ৰ'জেন গেছৰ দৰে দ্বিপাৰমাণৱিক গেছৰ ক্ষেত্ৰত একেটা কথা নাখাটে। অক্সিজেনৰ অণু একোটাৰ তিনিটা স্থানান্তৰীয় স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা থাকে। তদুপৰি ই তাৰ ভৰকেন্দ্ৰ সাপেক্ষে ঘূৰ্ণনো কৰিব পাৰে। অক্সিজেনৰ অণুত থকা তাৰ দুটা পৰমাণু সংযোগী অক্ষৰ লম্বভাৱে থকা দুডাল অক্ষ সাপেক্ষে অণুটোৱে যে স্বতন্ত্ৰভাৱে ঘূৰ্ণন কৰিব পাৰে তাকেই চিত্ৰ (13.6)ত দেখুওৱা হৈছে* অৰ্থাৎ ঘূৰ্ণনে অণুটোৰ ক্ষেত্ৰত দুটা অতিৰিক্ত স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা সংযোগ কৰে। ইয়াৰ ফলত অণুটোৰ মুঠ শক্তিত স্থানান্তৰিত শক্তিৰ (ε_t) লগতে ঘূৰ্ণন গতি শক্তিও (ε_r) জড়িত হৈ পৰে।



চিত্ৰ 13.6 *দ্বিপাৰমাণৱিক অণুৰ দুডাল স্বতন্ত্ৰ ঘূৰ্ণন অক্ষ।*

* *পৰমাণু সংযোগী অক্ষ সাপেক্ষে অণুটোৰ জড় ভ্ৰামক তেনেই কম। সেয়ে কোৱাণ্টাম বলবিজ্ঞানৰ দৃষ্টিকোণৰ পৰা তেনে এক ঘূৰ্ণন উপেক্ষা কৰা হয়। 13.6 অনুচ্ছেদ চোৱা।*

$$\varepsilon_t + \varepsilon_r = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2 + \frac{1}{2}I_1\omega_1^2 + \frac{1}{2}I_2\omega_2^2 \quad (13.25)$$

ইয়াত ω_1 আৰু ω_2 হ'ল অক্ষ 1 আৰু অক্ষ 2 সাপেক্ষে অণুটোৰ কৌণিক দ্ৰুতি, আৰু I_1 আৰু I_2 হ'ল ক্ৰমে সেই দুডাল অক্ষ সাপেক্ষে অণুটোৰ জড় ভ্ৰামক। মন কৰা যে ঘূৰ্ণনৰ প্ৰতিটো স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ পৰা শক্তিৰ একোটা পদ আছে, আৰু সেই পদটোত বস্তুটোৰ ঘূৰ্ণন গতিৰ চলক এটাৰ বৰ্গ মান অন্তৰ্ভুক্ত হৈ থাকে।

আমি ওপৰৰ আলোচনাটোত অক্সিজেনৰ অণুটোক এটা 'দৃঢ় ঘূৰ্ণক' (rigid rotator) বুলি ধৰি লৈছিলো, যাতে অণুটোত থকা পৰমাণু দুটাই সিহঁতৰ সংযোগী ৰেখা সাপেক্ষে স্পন্দিত নহয়। মধ্যম ধৰণৰ উষ্ণতাত এই ধাৰণা অক্সিজেনৰ বাবে শুদ্ধ হ'লেও সকলো ক্ষেত্ৰতে নহয়। কাৰ্বন মন'-অক্সাইডৰ দৰে অণুৰ ক্ষেত্ৰত সাধাৰণ উষ্ণতাতে পৰমাণু সংযোগী ৰেখা সাপেক্ষে এক প্ৰকাৰৰ স্পন্দন থাকে। এই স্পন্দনৰ ফলত অণুটোৰ মুঠ শক্তিত স্পন্দন শক্তিও (ε_v) অন্তৰ্ভুক্ত হয়—

$$\varepsilon_v = \frac{1}{2}m\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \frac{1}{2}ky^2$$

ইয়াত k হ'ল দোলকটোৰ বল ধ্ৰুৱক আৰু y হ'ল ইয়াৰ ভৰ পিণ্ডৰ স্থানাংক। গতিকে আমি লিখিব পাৰোঁ

$$\varepsilon = \varepsilon_t + \varepsilon_r + \varepsilon_v \quad (13.26)$$

এইক্ষেত্ৰতো দেখা গ'ল যে ε_vত স্পন্দনৰ চলৰাশি y আৰু $\left(\frac{dy}{dt}\right)$ৰ বৰ্গ অন্তৰ্ভুক্ত হৈ থাকে।

এইখিনিতে আন সমীকৰণ (13.26)ৰ এটা মন কৰিবলগীয়া কথা হ'ল যে প্ৰত্যেকটো স্থানান্তৰীয় আৰু ঘূৰ্ণন স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ সৈতে মাত্ৰ এটা 'বৰ্গীকৃত পদ' জড়িত হৈ থাকে, অথচ স্পন্দনৰ এটা মাত্ৰাৰ সৈতে দুটাকৈ বৰ্গীকৃত পদ ঃ গতি আৰু স্থিতি শক্তি পদ জড়িত হৈ থাকে।

অণুটোৰ মুঠ শক্তি εৰ প্ৰকাশৰাশিত থকা প্ৰতিটো পদ হ'ল অণুটোৱে শক্তি শোষণ কৰা ভিন ভিন পন্থা (mode)। আমি ইতিমধ্যে দেখিছোঁ যে T পৰম উষ্ণতাত তাপীয় সাম্যত থকা এটা গেছৰ প্ৰতিটো স্থানান্তৰীয় গতি প্ৰকাৰৰ সৈতে গড়ে $\frac{1}{2}k_BT$ পৰিমাণৰ শক্তি জড়িত হৈ থাকে। ধ্ৰুপদী সাংখ্যিক বল বিজ্ঞানৰ এটা নিখুঁত বিধিৰ (বিধিটো পোনতে মেক্সৱেলে প্ৰমাণ কৰিছিল) মতে স্থানান্তৰীয়, ঘূৰ্ণন আৰু স্পন্দন গতিৰ প্ৰতিটো প্ৰকাৰৰ সৈতে গড়ে $\frac{1}{2}k_BT$ পৰিমাণৰ শক্তি জড়িত হৈ থাকে। অৰ্থাৎ, সাম্য অৱস্থাত শক্তি শোষণৰ প্ৰতিটো পন্থাৰ মাজত মুঠ শক্তি সমভাৱে বিভাজিত হয়, আৰু প্ৰতিটো পন্থাৰ সৈতে জড়িত শক্তিৰ গড় পৰিমাণ $\frac{1}{2}k_BT$। এই নীতিটোক **শক্তিৰ সম-বিভাজনৰ বিধি** (law of equipartition of energy) বোলে। সেই মতে স্থানান্তৰীয় আৰু ঘূৰ্ণন গতিৰ প্ৰতিটো স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ পৰা অণু এটাই লাভ কৰা গড় শক্তি ½ k_BT; আনহাতে স্পন্দনৰ প্ৰতিটো কম্পনাংকৰ পৰা অহা শক্তি হ'ল $2 \times \frac{1}{2}k_BT = k_BT$, কাৰণ প্ৰত্যেকটো স্পন্দনৰ কম্পনাংকত গতি আৰু স্থিতি, উভয় প্ৰকাৰৰ শক্তি জড়িত থাকে।

শক্তিৰ সমবিভাজনৰ বিধিটো এই পুথিত প্ৰতিষ্ঠা কৰা সম্ভৱপৰ নহয়। ইয়াত কেৱল আমি বিধিটো প্ৰয়োগ কৰি তাত্ত্বিকভাৱে গেছৰ আপেক্ষিক তাপ নিৰ্ণয় কৰিম। পাছলৈ আমি এই বিধিটো গোটা পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক তাপৰ ক্ষেত্ৰতো চমুকৈ ব্যৱহাৰ কৰিম।

13.6 আপেক্ষিক তাপধৃতি (Specific Heat Capacity)

13.6.1 একপাৰমাণৱিক গেছ (Monatomic Gases)

একপাৰমাণৱিক গেছৰ অণুৰ মাত্ৰ তিনিটা স্থানান্তৰীয় স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা থাকে। সেয়ে, T উষ্ণতাত তেনে অণু এটাৰ

শক্তিৰ গড় মান হ'ল $(3/2)k_B T$। তেনে গেছৰ এক ম'লৰ মুঠ আভ্যন্তৰীণ শক্তি হ'ব

$$U = \frac{3}{2}k_B T \times N_A = \frac{3}{2}RT \qquad (13.27)$$

স্থিৰ আয়তনত ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ হ'ব

$$C_v \text{ (একপাৰমাণৱিক গেছ)} = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2}R \qquad (13.28)$$

আনহাতে আদৰ্শ গেছৰ বাবে

$$C_p - C_v = R \qquad (13.29)$$

ইয়াত C_p হ'ল স্থিৰ চাপত গেছটোৰ ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ। সেয়ে

$$C_p = \frac{5}{2}R \qquad (13.30)$$

গতিকে গেছবিধৰ ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপৰ অনুপাত $\left(\frac{C_p}{C_v}\right)$ হ'ব

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} \qquad (13.31)$$

13.6.2 দ্বিপাৰমাণৱিক গেছ (Diatomic Gases)

আগতে আমি উল্লেখ কৰিছোঁ যে দ্বিপাৰমাণৱিক অণু এটা ডাম্ববেলৰ (dumbbell) দৰে দেখি। ইয়াক এবিধ দৃঢ় ঘূৰ্ণক বুলি ধৰি ল'লে ইয়াৰ মুঠ স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা হ'ব 5, স্থানান্তৰীয় গতিৰ বাবে 3 আৰু ঘূৰ্ণন গতিৰ বাবে 2। শক্তিৰ সমবিভাজনৰ বিধি প্ৰয়োগ কৰি আমি পাওঁ যে তেনে এবিধ গেছৰ এক ম'লৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি হ'ব

$$U = \frac{5}{2}k_B T \times N_A = \frac{5}{2}RT \qquad (13.32)$$

গেছবিধৰ দুই বিধ ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ হ'ব ক্ৰমে C_v (দৃঢ় দ্বিপাৰমাণৱিক) $= \frac{5}{2}R$

$$C_p \text{ (দৃঢ় দ্বিপাৰমাণৱিক)} = \frac{7}{2}R \qquad (13.33)$$

গতিকে γ (দৃঢ় দ্বিপাৰমাণৱিক) $= \frac{7}{5}$ (13.34)

দ্বিপাৰমাণৱিক অণুটো দৃঢ় ঘূৰ্ণক নহ'লে, আৰু লগতে ইয়াৰ স্পন্দন থাকিলে

$$U = \left(\frac{5}{2}k_B T + k_B T\right)N_A = \frac{7}{2}RT$$

$$C_v = \frac{7}{2}R,\ C_p = \frac{9}{2}R,\ \gamma = \frac{9}{7} \qquad (13.35)$$

13.6.3 বহুপাৰমাণৱিক গেছ (Polyatomic Gases)

সাধাৰণতে এটা বহুপাৰমাণৱিক অণুৰ *3* টা স্থানান্তৰীয়, *3* টা ঘূৰ্ণন স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা আৰু এক বিশেষ সংখ্যক (f) স্পন্দন স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা থাকে। শক্তিৰ সমবিভাজনৰ বিধিৰ মতে তেনে এবিধ গেছৰ এক ম'লৰ আভ্যন্তৰীণ শক্তি হ'ব—

$$U = \left(\frac{3}{2}k_B T + \frac{3}{2}k_B T + f\,k_B T\right)N_A$$

অৰ্থাৎ $C_v = (3+f)R,\ C_p = (4+f)R,$

$$\therefore\ \gamma = \frac{(4+f)}{(3+f)} \qquad (13.36)$$

মন কৰিবা যে $C_p - C_v = R$ সম্বন্ধটো সকলো আদৰ্শ গেছৰ বাবে, অৰ্থাৎ এক পাৰমাণৱিক, দ্বিপাৰমাণৱিক বা বহুপাৰমাণৱিক গেছৰ ক্ষেত্ৰতে প্ৰযোজ্য।

স্পন্দন গতি উপেক্ষা কৰি তিনিবিধ ভিন্ন প্ৰকাৰৰ আদৰ্শ গেছৰ আপেক্ষিক তাপৰ তাত্ত্বিক মান তালিকা 13.1ত চমুকৈ দিয়া হৈছে। আনহাতে তালিকা 13.2ত সেইবোৰৰ পৰীক্ষামূলক মানবোৰ উল্লেখ কৰা হৈছে। তালিকা দুখন ৰিজাই চালে দেখা যায় যে তাত্ত্বিক মানবোৰ পৰীক্ষামূলক মানৰ সৈতে মোটামুটিভাৱে একে। সেয়ে হ'লেও Cl_2, C_2H_6 আদি কিছুমান বহুপাৰমাণৱিক গেছৰ ক্ষেত্ৰত তাত্ত্বিক মানৰ সৈতে পৰীক্ষামূলক মানৰ মিল দেখা নাযায় (তালিকাত তেনেবোৰ গেছ দেখুওৱা হোৱা নাই)। সাধাৰণতে সেই

তালিকা 13.1 গেছৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতিৰ তাত্ত্বিক মান (স্পন্দন উপেক্ষা কৰি)

গেছৰ প্ৰকৃতি	C_v (J mol^{-1}K^{1})	C_p (J mol^{-1}K^{1})	C_p–C_v (J mol^{-1}K^{1})	γ
একক পাৰমাণৱিক	12.5	20.8	8.31	1.67
দ্বিপাৰমাণৱিক	20.8	29.1	8.31	1.40
ত্ৰিপাৰমাণৱিক	24.93	33.24	8.31	1.33

তালিকা 13.2 কেইবিধমান গেছৰ আপেক্ষিক তাপধৃতিৰ পৰীক্ষামূলক মান

গেছৰ প্ৰকৃতি	গেছৰ নাম	C_v (J mol^{-1}K^{1})	C_p (J mol^{-1}K^{1})	C_p–C_v (J mol^{-1}K^{1})	γ
একপাৰমাণৱিক	He	12.5	20.8	8.30	1.66
একপাৰমাণৱিক	Ne	12.7	20.8	8.12	1.64
একপাৰমাণৱিক	Ar	12.5	20.8	8.30	1.67
দ্বিপাৰমাণৱিক	H_2	20.4	28.8	8.45	1.41
দ্বিপাৰমাণৱিক	O_2	21.0	29.3	8.32	1.40
দ্বিপাৰমাণৱিক	N_2	20.8	29.1	8.32	1.40
ত্ৰিপাৰমাণৱিক	H_2O	27.0	35.4	8.35	1.31
বহুপাৰমাণৱিক	CH_4	27.1	35.4	8.36	1.31

গেছবোৰৰ আপেক্ষিক তাপৰ পৰীক্ষামূলক মানবোৰ তালিকা 13.1ত দেখুওৱা তাত্ত্বিক মানতকৈ অধিক। ইয়াৰ পৰা এটা কথাই বুজা যায়। গণনাত যদি এইবোৰ গেছৰ স্পন্দন গতিকো সাঙুৰি লোৱা হয় তেন্তে দুয়ো প্ৰকাৰৰ মানৰ মাজৰ পাৰ্থক্য হ্ৰাস নিশ্চয় পাব। মুঠতে ক'ব পাৰি যে সাধাৰণ উষ্ণতাত শক্তিৰ সমবিভাজনৰ বিধিটো পৰীক্ষামূলকভাৱে শুদ্ধ বুলি প্ৰমাণিত হৈছে।

▶**উদাহৰণ 13.8** চুঙা এটাৰ আয়তন 44.8 লিটাৰ। প্ৰমাণ উষ্ণতা আৰু চাপত চুঙাটোৰ ভিতৰত হিলিয়াম গেছ লোৱা হৈছে। গেছখিনিৰ উষ্ণতা 15 °C বৃদ্ধি কৰিবলৈ কিমান তাপৰ প্ৰয়োজন হ'ব? (R = 8.31 J mo1^{-1} K^{-1})।

উত্তৰ ঃ আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণটো $PV = \mu RT$ ব্যৱহাৰ কৰি সহজে দেখুৱাব পাৰি যে প্ৰমাণ উষ্ণতা (273 K) আৰু চাপত (1 atm = 1.01 × 10^5 Pa) যিকোনো (আদৰ্শ) গেছৰ 1 ম'লৰ আয়তন হ'ব 22.4 লিটাৰ। এই সাৰ্বজনীন আয়তনটোক ম'লাৰ আয়তন বোলে। এই ক্ষেত্ৰত, সেয়ে চুঙাটোত 2 ম'ল হিলিয়াম থাকিব। তদুপৰি হিলিয়াম যিহেতু একপাৰমাণৱিক গেছ, সেয়ে স্থিৰ আয়তনত ইয়াৰ ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপৰ (C_v) তাত্ত্বিক আৰু পৰীক্ষামূলক মান হ'ল $C_v = \frac{3}{2}R$ আৰু ইয়াৰ স্থিৰ চাপত ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ $C_p = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$। চুঙাৰ আয়তন যিহেতু পৰিৱৰ্তন নহয়

গেছবিধক প্ৰয়োজন হোৱা তাপ C_vয়ে নিৰ্ধাৰণ কৰিব। গতিকে প্ৰয়োজন হোৱা তাপ = ম'লৰ সংখ্যা × ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

$= 2 \times 1.5\, R \times 15.0 = 45\, R$

$= 45 \times 8.31 = 374$ J.

13.6.4 গোটা পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতি (Specific Heat Capacity of Solids)

গোটা পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক তাপ নিৰ্ণয় কৰিবলৈ আমি শক্তিৰ সমবিভাজনৰ বিধিটো ব্যৱহাৰ কৰিব পাৰোঁ। ধৰা গোটা পদাৰ্থ এটুকুৰাত N সংখ্যক পৰমাণু আছে, আৰু প্ৰতিটো পৰমাণুৱে নিজৰ সাম্য বিন্দু সাপেক্ষে দোলন কৰি আছে। একমাত্ৰিক (one dimension) স্পন্দনত শক্তিৰ গড় মান হ'ল $2 \times ½\, k_BT = k_BT$। ত্ৰিমাত্ৰিক দোলনত শক্তিৰ গড় মান হ'ল $3\, k_BT$। পদাৰ্থবিধৰ এক ম'লৰ বাবে $N = N_A$। পদাৰ্থবিধৰ মুঠ শক্তি হ'ল

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

আনহাতে স্থিৰ চাপৰ বাবে $\Delta Q = \Delta U + P\Delta V = \Delta U$, কাৰণ গোটা পদাৰ্থৰ বাবে ΔVৰ মান নগণ্য। সেয়ে,

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} = 3R \qquad (13.37)$$

তালিকা 13.3 কোঠাৰ উষ্ণতা আৰু বায়ুমণ্ডলীয় চাপত কেইবিধমান গোটা পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক তাপ ধৃতি

পদাৰ্থৰ নাম	আপেক্ষিক তাপ ($J\ kg^{-1}K^{1}$)	ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ ($J\ mol^{-1}K^{1}$)
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

তালিকা 13.3ত দিয়া গোটা পদাৰ্থৰ (কাৰ্বনৰ বাহিৰে আনবোৰৰ) আপেক্ষিক তাপৰ তাত্ত্বিক মানৰ সৈতে পৰীক্ষাৰ সহায়ত পোৱা মানবোৰৰ মিল আছে।

13.6.5 পানীৰ আপেক্ষিক তাপধৃতি (Specific Heat Capacity of Water)

তাপধৃতিৰ দৃষ্টিকোণৰ পৰা আমি পানীক গোটা পদাৰ্থৰ দৰে বিবেচনা কৰিব পাৰো। পানীৰ প্ৰতিটো পৰমাণুৰ শক্তিৰ গড় মান $3k_BT$। পানীৰ এটা অণুত তিনিটাকৈ পৰমাণু থাকে, দুটা হাইড্ৰ'জেনৰ আৰু এটা অক্সিজেনৰ। সেয়ে এক ম'ল পানীৰ অণুৰ বাবে আমি পাওঁ—

$U = 3 \times 3\ k_BT\ \times N_A\ = 9\, RT$

আৰু $C = \dfrac{\Delta Q}{\Delta T} = \dfrac{\Delta U}{\Delta T} = 9R$

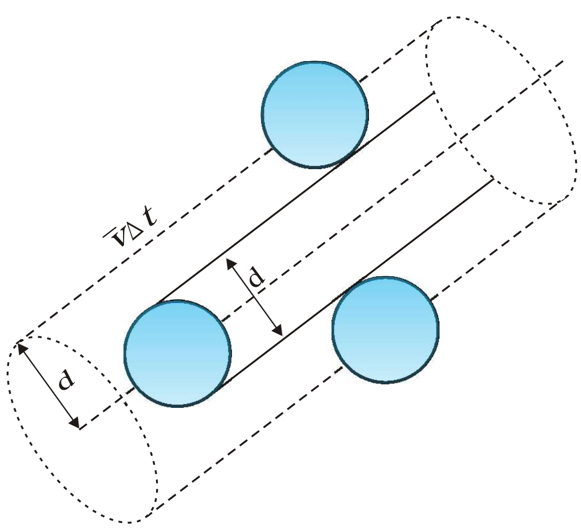
পৰীক্ষাৰ পৰাও পানীৰ ক্ষেত্ৰত এই মানেই পোৱা যায়। কেল'ৰি, ডিগ্ৰী, গ্ৰাম এককত পানীৰ আপেক্ষিক তাপ এক বুলি ধৰা হয়। যিহেতু 1 কেল'ৰি = 4.179 জুল আৰু পানীৰ এক ম'ল = 18 গ্ৰাম, সেয়ে প্ৰতি ম'ল পানীৰ আপেক্ষিক তাপ ~ 75 $J\ mol^{-1}\ K^{-1}$ ~ 9R। সেয়ে হ'লেও এলক'হল আৰু এচিটʼনৰ দৰে জটিল অণুৰ ক্ষেত্ৰত স্বতন্ত্ৰতা মাত্ৰাভিত্তিক তাপৰ গণনা যথেষ্ট কঠিন হৈ উঠে।

অৱশেষত আপেক্ষিক তাপ সম্বন্ধীয় আমাৰ তাত্ত্বিক গণনাবোৰৰ ক্ষেত্ৰত এটা গুৰুত্বপূৰ্ণ কথা মন কৰা উচিত— আমাৰ গণনাবোৰ শক্তিৰ সমবিভাজনৰ ধ্ৰুপদী বিধিটোৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল। গণনাত আমি পোৱা আপেক্ষিক তাপৰ প্ৰকাশৰাশি উষ্ণতাৰ ওপৰত নিৰ্ভৰশীল নহয়। পিছে পদাৰ্থৰ উষ্ণতা যিমান হ্ৰাস কৰি নিয়া হয়, আমি পোৱা তাত্ত্বিক মান আৰু পৰ্যবেক্ষণৰ পৰা পোৱা মানৰ মাজৰ পাৰ্থক্য সিমানে চকুত পৰা বিধৰ হৈ উঠে। পদাৰ্থৰ উষ্ণতা T যেতিয়া $T \rightarrow 0$ হয়, সকলো পদাৰ্থৰ আপেক্ষিক তাপ শূন্যৰ কাষ চাপে। ইয়াৰ কাৰণ হ'ল অতি নিম্ন উষ্ণতাত অণু-পৰমাণুৰ স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাবোৰ অকাৰ্যকৰী হৈ পৰে। ধ্ৰুপদী পদাৰ্থবিজ্ঞানৰ মতে স্বতন্ত্ৰ

মাত্রা সকলো অৱস্থাতে অপৰিৱৰ্তিত হৈ থাকিব লাগে। নিম্ন উষ্ণতাত আপেক্ষিক তাপৰ আচৰণে ধ্রুপদী পদাৰ্থবিজ্ঞানৰ সীমাবদ্ধতালৈ আঙুলিয়াই দিয়ে। এনে উষ্ণতাত কোৱাণ্টাম বলবিজ্ঞানৰহে ব্যৱহাৰৰ প্ৰয়োজন হয়। এই কথা আইনষ্টাইনে প্ৰথমে দেখুৱাইছিল। পদাৰ্থই এক নিৰ্দিষ্ট নিম্ন পৰিমাণৰ শক্তি আহৰণ নকৰা পৰ্যন্ত তাৰ অণু-পৰমাণুবোৰৰ স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাবোৰ কাৰ্যকৰী হৈ নুঠে। কিছুমান পদাৰ্থৰ ক্ষেত্ৰত স্পন্দন স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা অনুপস্থিতিৰ কাৰণো এয়ে।

13.7 গড় মুক্ত পথ (Mean Free Path)

গেছৰ অণুবোৰ যথেষ্ট বেগেৰে গতি কৰি থাকে। সিহঁতৰ বেগক শব্দৰ বেগৰ সৈতে ৰিজাব পাৰি। সেয়ে হ'লেও কেতিয়াবা জুহালত গেছৰ চিলিঙাৰটোৰ পৰা বিজুতিজনিত কাৰণত গেছ নিৰ্গত হ'লে সেই গেছ কোঠাটোৰ চুক-কোণবোৰলৈ বিয়পিবলৈ যথেষ্ট সময় লাগে। ডাঠ ধোঁৱাৰ ওপৰৰ অংশটো বেছ কিছু সময় ধৰি একেদৰেই থকা দেখা যায়। ইয়াৰ কাৰণ হ'ল গেছৰ অণুবোৰ বিন্দু কণিকা নহয়, ইহঁতৰ এক ক্ষুদ্ৰ কিন্তু নিৰ্দিষ্ট



চিত্ৰ 13.7 *Δt সময়ত অণু এটাই আগুৰি লোৱা আয়তন। এই আয়তনত অন্য অণুৰ অৱস্থান ঘটিলে অণুবোৰৰ সংঘাত ঘটিব।*

আকাৰ থাকে আৰু সেয়ে সিহঁত ইটোৰ সৈতে সিটো উপৰ্যুপৰি সংঘাতৰ সন্মুখীন হ'বলগীয়া হয়। ফলত সিহঁত বাধাহীনভাৱে পোনে পোনে একেফালে গৈ থাকিব নোৱাৰে। বৰং সিহঁতৰ গতিপথ পুনঃ পুনঃ সলনি হৈ থাকে।

ধৰা হওঁক যে গেছৰ অণুবোৰ গোলাকৃতিৰ আৰু ধৰা হওঁক তেনে এটা গোলকৰ ব্যাস হ'ল d। ধৰা হওঁক তেনে এটা অণুৰ দ্ৰুতি $<v>$। এই অণুটোৰ কেন্দ্ৰৰ পৰা d দূৰত্বৰ ভিতৰলৈ সোমাই অহা আন যিকোনো অণুৰ সৈতে ইয়াৰ সংঘাত ঘটিব। অণুটোৱে Δt সময়ৰ ভিতৰত $\pi d^2 <v> \Delta t$ আয়তনৰ চুঙা এটা আগুৰি ল'ব, আৰু চুঙাটোৰ ভিতৰলৈ সোমাই অহা আন যিকোনো অণুৰ সৈতে প্ৰথম অণুটোৱে খুন্দা খাব (চিত্ৰ 13.7 চোৱা)। প্ৰতি একক আয়তনত থকা গেছৰ অণুৰ সংখ্যা যদি n হয় তেন্তে Δt সময়ত অণুটোৱে $n \pi d^2 <v> \Delta t$ সংখ্যক সংঘাত কৰিব। গতিকে সংঘাতৰ হাৰ হ'ব $n \pi d^2 <v>$। অৰ্থাৎ দুটা ক্ৰমিক সংঘাতৰ মাজৰ সময়ৰ গড় ব্যৱধান হ'ব

$$\tau = \frac{1}{n\pi < v > d^2} \tag{13.38}$$

দুটা ক্ৰমিক সংঘাতৰ মাজৰ গড় দূৰত্বক অণু এটাৰ গড় মুক্ত পথ (mean free path) বোলে। গতিকে গড় মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য হ'ব

$$l = < v > \tau = \frac{1}{n\pi d^2} \tag{13.39}$$

এই গণনাত আমি ধৰি লৈছিলো যে মাত্ৰ এটা অণুৰ বাহিৰে গেছটোৰ আন অণুবোৰ স্থিৰে থাকে। পিছে গেছটোৰ আটাইবোৰ অণুৱেই গতি কৰি থাকে আৰু সংঘাতৰ হাৰ নিৰূপণ কৰে অণুবোৰৰ গড় আপেক্ষিক বেগে। সেয়ে সমীকৰণ (13.38)ত আমি $<v>$ ৰ ঠাইত $<v_r>$ বহুৱাব লাগিব। অন্য অধিক নিখুঁত গাণিতিক পদ্ধতি ব্যৱহাৰ কৰিলে দেখা যায় যে

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} n\pi d^2} \tag{13.40}$$

দেখিলেহে বিশ্বাস হয়

খালী চকুৰে আমি পৰমাণু দেখা পাওঁ নেকি? নেদেখো, কিন্তু সিহঁত ইফাল-সিফালকৈ গতি কৰি থকাৰ উমান নিশ্চয় পাওঁ। পানীৰ উপৰিপৃষ্ঠত ছটিয়ালে পানীৰ অণুবোৰে ফুলৰ পৰাগৰেণুবোৰ (pollen grain) লৰচৰ কৰি থকা আমি নিশ্চয় দেখিবলৈ পাওঁ। ৰেণু একোটাৰ আকাৰ ~ 10^{-5} m। 1827 চনত ৰবাৰ্ট ব্ৰাউন (Robert Brown) নামৰ স্কটলেণ্ডৰ উদ্ভিদ বিজ্ঞানী এগৰাকীয়ে পানীত ভাহি থকা পৰাগৰেণুবোৰ অণুবীক্ষণ যন্ত্ৰৰে পৰীক্ষা কৰি থকা অৱস্থাত মন কৰিলে যে ৰেণুবোৰ অহৰহ কিছুমান একাবেঁকা পথেৰে ইফাল-সিফালকৈ লৰচৰ কৰি থাকে। গতিবাদ তত্ত্বই পৰিঘটনাটোৰ শুদ্ধ ব্যাখ্যা দিয়ে। পানীত ভাহি থকা কণিকা এটাক পানীৰ অণুবোৰে চাৰিওদিশৰ পৰা অনবৰত খুন্দিয়াই থাকে। অণুবোৰৰ গতি যিহেতু যাদৃচ্ছিক, কণিকাটোক এটা দিশৰ পৰা যিমানবোৰ অণুৱে খুন্দা মাৰে বিপৰীত দিশৰ পৰাও প্ৰায় সমসংখ্যক অণুৱেই তাক খুন্দিয়ায়। দুই বিপৰীত দিশৰ পৰা হোৱা সংঘাতৰ সংখ্যাৰ মাজত যি নগণ্য পাৰ্থক্য থাকে সেই পাৰ্থক্যৰ বাবে সাধাৰণ আকাৰৰ ভাসমান বস্তু এটাই এটা বিশেষ দিশে লাভ কৰা গতি তেনেই মৃদু। ফলত বস্তুটোৰ গতি আমাৰ দৃষ্টিত ধৰা নপৰে।

বস্তুটো যদি যথেষ্ট সৰু অথচ অণুবীক্ষণ যন্ত্ৰৰে দেখা পোৱা আকাৰৰ হয় তেন্তে সংঘাতৰ সংখ্যাৰ পাৰ্থক্যটো উপেক্ষা কৰিব পৰা বিধৰ হৈ নাথাকে। অৰ্থাৎ মাধ্যমটোৰ (পানী অথবা অন্য জুলীয়া পদাৰ্থ) অণুবোৰে ভাসমান বস্তুটোক প্ৰদান কৰা ভৰবেগ আৰু টৰ্কৰ (torque) লব্ধমান শূন্য নহয়। কোনো এটা বিশেষ দিশত বস্তুটোৰ ওপৰত লব্ধ ভৰবেগ আৰু টৰ্ক থাকে। সেয়ে ভাসমান ক্ষুদ্ৰ বস্তুটোৱে এক বিশৃংখল প্ৰকৃতিৰ গতি প্ৰদৰ্শন কৰে। এনে এক যাদৃচ্ছিক গতিক 'ব্ৰাউনীয় গতি' (Brownian motion) বোলে। ই আণৱিক গতিৰ প্ৰমাণ বহন কৰে। বিগত অৰ্ধ শতিকাৰ পৰা ক্ৰমবীক্ষণ সুৰংগায়ন অণুবীক্ষণ যন্ত্ৰ (scanning tunneling microscope) আৰু অন্য কিছুমান বিশেষ ধৰণৰ অণুবীক্ষণ যন্ত্ৰৰ সহায়ত বিজ্ঞানীয়ে অণুৰ ছবি দেখি আহিছে।

1987 চনত মাৰ্কিন যুক্তৰাজ্যত গৱেষণা কৰি থকা আহমেদ জিৱেইল (Ahmed Zewail) নামৰ মিছৰৰ বিজ্ঞানী এজনে কেৱল অণুৱেই নহয়, অণুৰ মাজৰ আন্তঃক্ৰিয়াবোৰো পুংখানুপুংখৰূপে প্ৰত্যক্ষ কৰিবলৈ সক্ষম হৈছিল। অণুবোৰক তেওঁ অতি কম সময়ৰ বাবে বৰ্তি থকা (ফেমট'ছেকেণ্ড পৰিসৰৰ সময়, 1 ফেমট'ছেকেণ্ড = 10^{-15} ছেকেণ্ড) লেজাৰ ৰশ্মিৰে উদ্ভাসিত কৰি সিহঁতৰ আলোক ছবি গ্ৰহণ কৰিছিল। এই পদ্ধতিৰ দ্বাৰা ৰাসায়নিক বন্ধনীৰ (chemical bonding) গঠন আৰু ভংগনো পৰ্যবেক্ষণ কৰিব পাৰি। আমি সঁচাকৈয়ে অণু দেখিব পৰা হৈছোঁ।

ধৰাহওঁক বায়ুৰ অণুৰ ক্ষেত্ৰত আমি l আৰু τৰ মান নিৰ্ণয় কৰিব খুজিছোঁ। ধৰা হওঁক বায়ুৰ অণু একোটাৰ গড় দ্ৰুতি $<v> = 485$ m/s। প্ৰমাণ উষ্ণতা আৰু চাপত

$$n = \frac{(0.02 \times 10^{23})}{(22.4 \times 10^{-3})}$$

$= 2.7 \times 10^{25}\ m^{-3}$.

$d = 2 \times 10^{-10}$ m ধৰিলে আমি পাম

$\tau = 6.1 \times 10^{-10}$ s আৰু

$$l = 2.9 \times 10^{-7}\ m \cong 1500\, d \qquad (13.41)$$

সমীকৰণ (13.40) লৈ লক্ষ্য কৰিলে দেখা যায় যে আমি আশা কৰা মতেই গড় মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য একক আয়তনত থকা অণুৰ সংখ্যাৰ ব্যস্তানুপাতিক আৰু লগতে ই অণুৰ আকাৰৰো ব্যস্তানুপাতিক। উচ্চ ভেকুৱামৰ গেছৰ নলী এডালৰ ভিতৰত n যথেষ্ট সৰু তেনেক্ষেত্ৰত গড় মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য নলীটোৰ দৈৰ্ঘ্যৰ সমান হয়গৈ।

▶**উদাহৰণ 13.9** সমীকৰণ (13.41) আৰু উদাহৰণ 13.1ত দিয়া তথ্যসমূহৰ সহায়ত 373 K উষ্ণতাত থকা পানীৰ ভাপত থকা পানীৰ অণুৰ গড় মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য নিৰ্ণয় কৰা।

উত্তৰ ঃ পানীৰ ভাপৰ বাবে d ৰ মান বায়ুৰ মানৰ সৈতে একে। একক আয়তনত থকা অণুৰ সংখ্যা পৰম উষ্ণতাৰ ব্যস্তানুপাতিক।

সেয়ে $n = 2.7 \times 10^{25} \times \frac{273}{373} = 2 \times 10^{25}\,\text{m}^{-3}$

গতিকে গড়মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য $l = 4 \times 10^{-7}\,\text{m}$

মন কৰা যে এই গড়মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য আন্তঃপাৰমাণৱিক দূৰত্বৰ 100 গুণ— ইয়াৰ পূৰ্বে আমি গণনা কৰি দেখিছিলোঁ যে আন্তঃপাৰমাণৱিক দূৰত্ব ~ 40 $A^0 = 4 \times 10^{-9}\,\text{m}$। ভাপৰ ক্ষেত্ৰত গড়মুক্ত পথৰ এই বৃহৎ দৈৰ্ঘ্যৰ বাবেই ভাপে গেছৰ দৰে আচৰণ প্ৰদৰ্শন কৰে। বন্ধ পাত্ৰ নহ'লে গেছ ধৰি ৰাখিব নোৱাৰি।

গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বৰ সহায়ত সান্দ্ৰতা, তাপ পৰিবাহিতা আৰু ব্যাপনৰ দৰে গেছৰ স্থূল আৰু মাপ্য ৰাশিবোৰক আণৱিক আকাৰৰ দৰে সূক্ষ্ম চলকবোৰৰ সৈতে সংলগ্ন কৰিব পাৰি। এনে যোগসূত্ৰবোৰৰ পৰাই পোনপ্ৰথমে আণৱিক আকাৰ নিৰ্ণয় কৰা হৈছিল।

সাৰাংশ

1. আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণটো হ'ল

$$PV = \mu RT \quad = k_B NT$$

ইয়াত P হ'ল গেছৰ চাপ, V তাৰ আয়তন, μ গেছটোৰ ম'লৰ সংখ্যা, T গেছটোৰ পৰম উষ্ণতা আৰু N হ'ল গেছটোত থকা অণুৰ সংখ্যা। আনহাতে R আৰু K_B হ'ল দুটা সাৰ্বজনীন ধ্ৰুৱক।

$$R = 8.314\ \text{J mol}^{-1}\ \text{K}^{-1}, \quad k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23}\ \text{J K}^{-1}$$

প্ৰকৃত গেছে নিম্ন চাপ আৰু উচ্চ উষ্ণতাতহে এই সমীকৰণটো মোটামুটিভাৱে মানি চলে।

2. গেছৰ গতিবাদ তত্ত্বৰ পৰা তলৰ গাণিতিক সম্বন্ধটো পোৱা যায়

$$P = \frac{1}{3} n m \overline{v^2}$$

ইয়াত N হ'ল একক আয়তনত থকা অণুৰ সংখ্যা, m হ'ল একোটা অণুৰ ভৰ আৰু $\overline{v^2}$ হ'ল অণুবোৰৰ গড় বৰ্গ দ্ৰুতি। এই সমীকৰণটোক আদৰ্শ গেছৰ সমীকৰণত ব্যৱহাৰ কৰিলে গেছৰ উষ্ণতাৰ গতিভিত্তিক ব্যাখ্যা পোৱা যায়।

$$\frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T, \quad v_{rms} = \left(\overline{v^2}\right)^{1/2} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$

ওপৰোক্ত সমীকৰণ দুটাৰ পৰা ক'ব পাৰি যে গেছৰ উষ্ণতা হ'ল গেছটোৰ একোটা অণুৰ গতি শক্তিৰ গড় মানৰ এটা পৰিমাণ, আৰু ই গেছটোৰ প্ৰকৃতি অথবা তাৰ অণুবোৰৰ প্ৰকৃতিৰ ওপৰত নিৰ্ভৰ নকৰে। গেছৰ মিশ্ৰণটোৰ উষ্ণতা স্থিৰে থকা অৱস্থাত তাত থকা গধুৰতৰ অণু একোটাৰ গড় দ্ৰুতি লঘুতৰ অণুতকৈ কম হয়।

3. স্থানান্তৰীয় গতি শক্তি

$$E = \frac{3}{2}\ k_B NT$$

ইয়াৰ পৰা আমি পাওঁ

$$PV = \frac{2}{3}\ E$$

4. শক্তিৰ সম বিভাজনৰ বিধিৰ মতে T পৰম উষ্ণতাত সাম্য অৱস্থাত থকা প্ৰণালী এটাৰ ক্ষেত্ৰত তাৰ মুঠ শক্তি প্ৰণালীটোৱে শক্তি শোষণ কৰা বিভিন্ন পন্থাৰ মাজত সমানে বিতৰণ হয়, আৰু প্ৰতিটো পন্থাৰ বাবে এই শক্তিৰ গড় মান হয় ½ $k_B\ T$। প্ৰতিটো স্থানান্তৰীয় আৰু ঘূৰ্ণন স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাই শক্তি শোষণৰ একোটা পন্থা প্ৰতিনিধিত্ব কৰে, আৰু প্ৰতিটোৰ বাবে শক্তিৰ গড় মান হয় ½ $k_B\ T$। আনহাতে প্ৰতিটো স্পন্দন মাত্ৰাই শক্তি গ্ৰহণৰ দুটাকৈ পন্থাক (গতি শক্তি আৰু স্থিতি শক্তি) প্ৰতিনিধিত্ব কৰে। সেয়ে স্পন্দনৰ এটা মাত্ৰাত 2 × ½ $k_B\ T$ পৰিমাণৰ শক্তি নিহিত থাকে।

5. শক্তি সমবিভাজনৰ বিধি ব্যৱহাৰ কৰি গেছৰ ম'লাৰ আপেক্ষিক তাপ নিৰ্ণয় কৰিব পাৰি। এনেদৰে নিৰ্ণয় কৰা আপেক্ষিক তাপৰ মান ভালেকেইটা গেছৰ পৰীক্ষামূলক আপেক্ষিক তাপৰ মানৰ সৈতে মিল থকা দেখা যায়। গণনাত স্পন্দন মাত্ৰা অন্তৰ্ভুক্ত কৰিলে এই মিল অধিক নিকট হৈ উঠে।

6. গেছৰ অণুৰ গড় মুক্ত পথ l হ'ল অণুটোৱে দুটা ক্ৰমিক সংঘাতৰ মাজত অতিক্ৰম কৰা দূৰত্ব

$$l = \frac{1}{\sqrt{2}\ n\ \pi\ d^2}$$

ইয়াত n হ'ল প্ৰতি একক আয়তনত থকা গেছৰ অণুৰ সংখ্যা আৰু d হ'ল একোটা অণুৰ ব্যাস।

মন কৰিবলগীয়া

1. তৰলে কেৱল পাত্ৰৰ বেৰতেই চাপ প্ৰয়োগ নকৰে। তৰলৰ সকলো স্থানতে চাপ থাকে। পাত্ৰৰ ভিতৰত থকা গেছৰ যিকোনো এটা তৰপ সাম্য অৱস্থাত থাকে কাৰণ তৰপটোৰ দুয়ো পিঠিত প্ৰয়োগ হোৱা চাপ সমান।

2. গোটা আৰু জুলীয়া পদাৰ্থৰ তুলনাত গেছৰ ক্ষেত্ৰত আন্তঃআণৱিক দূৰত্ব বহু বেছি নহয়। সাধাৰণ উষ্ণতা আৰু চাপত এই দূৰত্ব আন দুবিধ পদাৰ্থৰ আন্তঃপাৰমাণৱিক দূৰত্বৰ প্ৰায় 10 গুণহে। আচল পাৰ্থক্যটো হ'ল গড় মুক্ত পথৰহে। ই আন্তঃপাৰমাণৱিক দূৰত্বৰ 100 গুণ আৰু অণুৰ আকাৰৰ 1000 গুণ।

3. শক্তিৰ সম বিভাজনৰ বিধিটোৰ মূল কথাটো এনে ধৰণৰ— সাম্য অৱস্থাত প্ৰতিটো স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ বাবে থকা শক্তি হ'ল ½ $k_B T$। অণু এটাৰ মুঠ শক্তিৰ প্ৰকাশৰাশিত থকা প্ৰতিটো দ্বিঘাত পদক একোটা স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰা বুলি ধৰিব লাগে। সেয়ে, স্পন্দনৰ প্ৰতিটো প্ৰকাৰৰ বাবে স্বতন্ত্ৰ মাত্ৰাৰ সংখ্যা 2 (1 নহয়)— এটা গতি শক্তিৰ বাবে আৰু আনটো স্থিতি শক্তিৰ বাবে আৰু স্পন্দনৰ বাবে সেয়ে শক্তিৰ গড় মান 2 × ½ $k_B T = k_B T$।

4. কোঠা এটাত আবদ্ধ হৈ থকা বায়ুৰ অণুবোৰ মাধ্যাকৰ্ষণৰ ফলত তললৈ সৰি মজিয়াত পৰি নৰয় কাৰণ সিহঁত অনবৰত যথেষ্ট দ্ৰুত বেগে গতি কৰি থাকে আৰু লগতে সংঘাত কৰি থাকে। সাম্য অৱস্থাত, উচ্চ উচ্চতাৰ তুলনাত নিম্ন উচ্চতাত বায়ুৰ ঘনত্ব (বায়ুমণ্ডলৰ দৰে) কিঞ্চিতহে বাঢ়ে।

   ইয়াৰ কাৰণ হ'ল সাধাৰণ উচ্চতাত অণু এটাৰ গতি শক্তি গড় মান ½ mv^2 তাৰ স্থিতি শক্তিতকৈ (mgh) বহু বেছি।

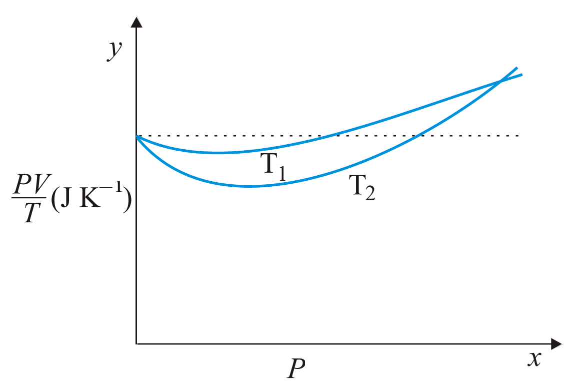
5. $< v^2 >$ সদায় $(< v >)^2$ৰ সমান নহয়। বৰ্গীকৃত ৰাশি এটাৰ গড় তাৰ মানৰ বৰ্গৰ সমান নহ'বও পাৰে। এই উক্তিটোৰ সমৰ্থনত কিবা উদাহৰণ জানা নেকি?

অনুশীলনী (Exercise)

13.1 প্ৰমাণ উষ্ণতা আৰু চাপত অক্সিজেন গেছৰ আণৱিক আয়তনৰ তুলনাত গেছটোৰ প্ৰকৃত আয়তনৰ ভগ্নাংশটো নিৰ্ণয় কৰা। অক্সিজেনৰ অণু এটাৰ ব্যাস 3 Å বুলি ধৰা।

13.2 কোনো এটা গেছৰ ম'লাৰ আয়তন হ'ল প্ৰমাণ উষ্ণতা আৰু চাপত গেছটোৰ 1 ম'লৰ আয়তন (প্ৰমাণ চাপ =1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ, প্ৰমাণ উষ্ণতা 0 °C)। দেখুওৱা যে এই আয়তন হ'ল 22.4 লিটাৰ।

13.3 চিত্ৰ 13.8 ত দুটা ভিন ভিন উষ্ণতাত 1.00×10^{-3} kg অক্সিজেনৰ বাবে P সাপেক্ষে PV/Tৰ দুটা লেখ দেখুওৱা হৈছে।



চিত্ৰ 13.8

(a) ভঙা ৰেখাডালে কি বুজায়?

(b) কোনটো সত্য $T_1 > T_2$ নে $T_1 < T_2$?

(c) লেখ দুটাই y অক্ষৰ যি বিন্দুত লগ লাগিছে তাত PV/Tৰ মান কিমান?

(d) আমি লোৱা অক্সিজেনৰ পৰিমাণ 1.00×10^{-3} kg হ'লে লেখ দুটাই y- অক্ষৰ যি বিন্দুত লগ লাগে তাত $\frac{PV}{T}$ৰ মান একেটাই পালোহেঁতেন নেকি? যদি নাপাওঁ তেন্তে হাইড্ৰ'জেনৰ কিমান ভৰৰ বাবে আমি $\frac{PV}{T}$ৰ একে মান পাম? (এইক্ষেত্ৰত লেখবোৰ নিম্ন চাপ আৰু উচ্চ উষ্ণতাত অঁকা হৈছে বুলি ধৰা) দিয়া আছে হাইড্ৰ'জেন আৰু অক্সিজেনৰ আণৱিক ভৰ ক্ৰমে 2.02 u আৰু 32.0 u, লগতে R = 8.31 J mol^{-1} K^{-1}।

13.4 অক্সিজেন ভৰি থকা চুঙা এটাৰ আয়তন 30 লিটাৰ। গেছৰ উষ্ণতা 27 °C আৰু তাৰ চাপ 15 atm (ইয়াত চাপ মানে গেজ চাপ বা যন্ত্ৰই দেখুওৱা চাপ বুজোৱা হৈছে)। চুঙাটোৰ পৰা কিছু অক্সিজেন ওলাই দিয়াৰ পাছত চাপ 11 atm আৰু উষ্ণতা 17 °C লৈ হ্ৰাস পালে। চুঙাটোৰ পৰা উলিয়াই দিয়া অক্সিজেনৰ পৰিমাণ কিমান? R = 8.31 J mol^{-1} K^{-1}, অক্সিজেনৰ আণৱিক ভৰ = 32 u।

13.5 বায়ুৰ বুৰবুৰণি এটা 40 m দ' হ্ৰদ এটাৰ তলিৰ পৰা ওপৰলৈ উঠি আহে। বুৰবুৰণিটোৰ প্ৰাৰম্ভিক আয়তন 10 cm^3 আৰু উষ্ণতা 12 °C । যদি হ্ৰদৰ পৃষ্ঠত উষ্ণতা 35 °C হয় তেন্তে পৃষ্ঠত উপনীত হওঁতে বুৰবুৰণিটোৰ আয়তন কিমান হ'ব?

13.6 বন্ধ কোঠা এটাৰ ভিতৰৰ আয়তন 25.0 m^3, উষ্ণতা 27 °C আৰু বায়ুৰ চাপ 1 atm। কোঠাটোত থকা বায়ুৰ মুঠ অণুৰ সংখ্যা গণনা কৰা (বায়ুৰ অক্সিজেন, নাইট্ৰ'জেন, পানীৰ বাষ্প আৰু অন্যান্য আটাইবোৰ গেছৰ মুঠ অণুৰ সংখ্যা ধৰিবা)।

13.7 তলত দিয়া ভিন ভিন উষ্ণতাত হিলিয়াম অণু এটাৰ তাপীয় শক্তিৰ গড় মান নিৰ্ণয় কৰা— (i) কোঠাৰ উষ্ণতাত (27 °C), (ii) সূৰ্যৰ পৃষ্ঠৰ উষ্ণতাত (6000 K) আৰু (iii) 10^7Kত (এয়া তৰা এটাৰ গৰ্ভৰ সাধাৰণ উষ্ণতা)।

13.8 তিনিটা বন্ধ চুঙাৰ প্ৰত্যেকৰে আয়তন, চাপ আৰু উষ্ণতা একে। প্ৰথম চুঙাটোত নিয়ন (একপাৰমাণৱিক) গেছ, দ্বিতীয়টোত ক্ল'ৰিণ (দ্বিপাৰমাণৱিক) গেছ আৰু তৃতীয়টোত ইউৰেনিয়াম হেক্সাফ্ল'ৰাইড (বহুপাৰমাণৱিক) গেছ আছে। প্ৰতিটো চুঙাত থকা নিৰ্দিষ্ট গেছৰ অণুৰ সংখ্যা সমান সমান নেকি? তিনিওবিধ চুঙাৰ গেছৰ অণুৰ গড় বৰ্গমূল দ্ৰুতি একে নেকি? যদি নহয় কোনটো চুঙাৰ ক্ষেত্ৰত v_{rms} সৰ্বাধিক?

13.9 কি উষ্ণতাত আৰ্গন গেছৰ অণু এটাৰ গড় বৰ্গমূল দ্ৰুতি – 20 °C ত থকা হিলিয়াম গেছৰ অণু এটাৰ গড় বৰ্গমূল দ্ৰুতিৰ সমান হ'ব? (আৰ্গন আৰু হিলিয়ামৰ পাৰমাণৱিক ভৰ ক্ৰমে 39.9 u আৰু 4.0 u)।

13.10 17 °C উষ্ণতা আৰু 2.0 atm চাপত চুঙা এটাত আবদ্ধ হৈ থকা নাইট্ৰ'জেনৰ গেছৰ অণু এটাৰ গড় মুক্ত পথৰ দৈৰ্ঘ্য আৰু সংঘাতৰ কম্পনাংক গণনা কৰা। নাইট্ৰ'জেন অণু এটাৰ ব্যাস মোটামুটিভাৱে 1.0 Å বুলি ধৰা। সংঘাতৰ সময়ৰ সৈতে অণুটোৱে দুটা ক্ৰমিক সংঘাতৰ মাজত অতিবাহিত কৰা সময় তুলনা কৰা (নাইট্ৰ'জেনৰ আণৱিক ভৰ 28.0 u)।

অতিৰিক্ত অনুশীলনী (Additional Exercise)

13.11 এমূৰ বন্ধ আৰু 1 m দৈৰ্ঘ্যৰ ঠেক ৰন্ধ্ৰৰ নলী এডাল আনুভূমিকভাৱে ৰখা হৈছে আৰু নলীডালৰ ভিতৰত 76 cm দৈৰ্ঘ্যৰ পাৰাৰ আঁহ এডাল আছে। আঁহডালৰ আনটো মূৰত 15 cm দৈৰ্ঘ্যৰ বায়ুৰ স্তম্ভ এটা আবদ্ধ হৈ আছে। নলীডালৰ বন্ধ মূৰটো তললৈ কৰি যদি তাক হঠাতে উলম্বভাৱে ধৰা হয় তেন্তে কি হ'ব?

13.12 এটা বিশেষ যন্ত্ৰৰ পৰা 28.7 $cm^3\ s^{-1}$ হাৰত হাইড্ৰ'জেন গেছৰ ব্যাপন ঘটে। একেটা পৰিৱেশত আন এটা গেছৰ 7.2 $cm^3\ s^{-1}$ হাৰত ব্যাপন ঘটে। গেছটো চিনাক্ত কৰা।

(পৰামৰ্শ ঃ এইক্ষেত্ৰত গ্ৰাহামৰ ব্যাপনৰ বিধি $R_1/R_2 = (M_2 /M_1)^{1/2}$, ইয়াত R_1 আৰু R_2 হ'ল ক্ৰমে M_1 আৰু M_2 আণৱিক ভৰৰ গেছ দুটাৰ ব্যাপনৰ হাৰ। এই বিধিটো গেছৰ গতিবাদৰ এটা সৰল পৰিণতি।)

13.13 সাম্য অৱস্থাত থকা এটা গেছৰ সমস্ত আয়তনত তাৰ ঘনত্ব আৰু চাপ সমান। এই পৰিৱেশটো বাহ্যিক প্ৰভাৱৰ অনুপস্থিতিতহে সত্য উদাহৰণ ঃ মাধ্যাকৰ্ষণৰ প্ৰভাৱত থকা গেছৰ স্তম্ভ এটাৰ ক্ষেত্ৰত স্তম্ভটোৰ সকলো স্থানতে চাপ আৰু ঘনত্ব একে নাথাকে। তেনে স্তম্ভ এটাৰ ক্ষেত্ৰত দেখদেখকৈ উচ্চতাৰ সৈতে ঘনত্ব হ্ৰাস পায়। উচ্চতাৰ ওপৰত ঘনত্ব ঠিক কিদৰে নিৰ্ভৰ কৰে সেয়া তথাকথিত বায়ুমণ্ডলৰ বিধিটোৰ পৰা পোৱা যায়—

$$n_2 = n_1 \exp [-mg (h_2 - h_1)/ k_BT]$$

ইয়াত n_2 আৰু n_1 হ'ল ক্ৰমে h_2 আৰু h_1 উচ্চতাত বায়ুৰ ঘনত্ব। বায়ুমণ্ডলীয় বিধিটো ব্যৱহাৰ কৰি জুলীয়া পদাৰ্থৰ স্তম্ভ এটাত সাম্য অৱস্থা লাভ কৰা তলৰ সমীকৰণটো প্ৰতিষ্ঠা কৰা—

$$n_2 = n_1 \exp [-mg N_A (\rho - \rho') (h_2 - h_1)/ (\rho RT)]$$

ইয়াত ρ হ'ল গেছৰ ঘনত্ব আৰু ρ' কাষৰ মাধ্যমটোৰ ঘনত্ব। (N_A হ'ল এড'গেড্ৰ'ৰ সংখ্যা, R গেছ ধ্ৰুৱক) (পৰামৰ্শ ঃ গেছৰ কণিকাৰ আপাত ওজন উলিয়াবলৈ আৰ্কিমিডিছৰ বিধিটো ব্যৱহাৰ কৰা।)

13.14 তলৰ তালিকাখনত কেইবিধমান গোটা পদাৰ্থ আৰু জুলীয়া পদাৰ্থৰ ঘনত্ব তুলি দিয়া হৈছে। এই পদাৰ্থবোৰৰ পৰমাণুবোৰৰ আকাৰৰ মোটামুটি মান নিৰ্ণয় কৰা ঃ

পদাৰ্থৰ নাম	পাৰমাণৱিক ভৰ (u)	ঘনত্ব (10^3 kgm^{-1})
কাৰ্বন (হীৰা)	12.01	2.22
সোণ	197.00	19.32
নাইট্ৰ’জেন (তৰল)	14.01	1.00
লিথিয়াম	6.94	0.53
ফ্ল’ৰিণ (তৰল)	19.00	1.14

(**পৰামৰ্শ ঃ** গোটা আৰু জুলীয়া অৱস্থাত পৰমাণুবোৰ পৰস্পৰৰ সৈতে ‘নিকপকপীয়াকৈ লাগি থাকে’ বুলি ধৰিবা আৰু এভ’গেড্ৰ’ৰ সংখ্যা ব্যৱহাৰ কৰিবা। পিছে এই পদ্ধতিৰে তুমি নিৰ্ণয় কৰা সংখ্যাবোৰ সম্পূৰ্ণ শুদ্ধ বুলি ধৰি নল’বা। আমি ‘নিকপকপীয়া’ৰ যিটো ধাৰণা লৈছোঁ সেয়া এক যথেষ্ট সৰলীকৃত ধাৰণাহে। সেয়ে, তুমি লাভ কৰা ফলবোৰে আমাক মাত্ৰ এই তথ্যহে দিব যে পাৰমাণৱিক আকাৰবোৰ এংষ্ট্ৰম পৰিসৰৰ হয়।)