

आजच्या व्याख्यानात आपले स्वागत आहे, आपण शेवटच्या वर्गात उष्मा इंजिन आणि रेफ्रिजरेटरबद्दल शिकलो ते पुन्हा आठवू या, दुसऱ्या कायद्याच्या चर्चला पुढे जाण्यापूर्वी आपण या दोन मशीन्सची त्वरीत पुनरावृत्ती करू,

त्यामुळे उष्णता इंजिन किंवा रेफ्रिजरेटर हा महत्त्वाचा मुद्दा आहे. ते पूर्ण चक्रात कार्य करतात ठीक आहे आणि मी जे काही प्रमाणात उष्णता शोषून घेतलेली उष्णता सोडली जाते त्या चालनाचा संदर्भ देईन ते संपूर्ण ऑपरेशनच्या चक्राशी संबंधित आहेत आणि ते त्याच बिंदूवर परत येतात ज्याचा अर्थ थर्मोडायनामिक व्हेरिएबल्सच्या समान संचासह समान स्थिती आहे म्हणून बदल बंद लूपवरील अंतर्गत ऊर्जा 0 च्या बरोबरीची असते कारण अंतर्गत ऊर्जा हे राज्य कार्य असते आणि थर्मोडायनामिक व्हेरिएबल्सच्या अवस्थेवर अवलंबून असते, म्हणून आपण उष्मा इंजिन उष्णता इंजिन आठवू या, उष्मा इंजिनमध्ये उष्मा इंजिन काय असते हे मी चित्रात सांगू या. दोन जलाशयांमधील चक्र एक गरम आहे  $t_1$  दुसऱ्याला  $t_2$  म्हणतात हा माझा कार्यरत पदार्थ आहे तो काहीही असो तो काही कारणास्तव आदर्श वायू निवडेल आणि ही उष्णता  $q_2$  शीत रिसॉल्व्हरला सोडली जाते म्हणून तेथे दोन राखीव तार आहेत एक गरम आहे दुसरी थंड आहे आणि कार्यरत पदार्थ या दोन जलाशयांमधील बंद चक्रात कार्य करतात आणि गरम जलाशयातील उष्णता  $q_1$  उष्णता शोषून घेतात. प्रक्रियेत विकृती ती थोडी चालते  $w$   $ok$  ऊर्जेचे संवर्धन आपल्याला सांगते की  $q$  एक समान  $q$  दोन अधिक  $w$  ठीक आहे आणि आम्ही इंजिनची कार्यक्षमता परिभाषित करतो जी  $\eta$  आहे जी  $w$  द्वारे  $q_1$  आहे जी उष्णतेने कार्य करते गरम जलाशयातून शोषले जाते आणि हे  $q$  एक वजा  $q$  दोन बाय  $q$  एक किंवा एक वजा  $q$  दोन बाय  $q$  एक असे लिहिले जाऊ शकते आता आम्ही प्रश्न विचारतो की मी  $q$  दोन सेट करणे शक्य आहे का शून्य बरोबर याचा अर्थ असा होतो की इंजिनची कार्यक्षमता एक असेल की ही एक शक्यता आहे त्या बाबतीत मला कोणत्याही थंड जलाशयाची गरज नाही माझे मशीन गरम जलाशयातून उष्णता काढेल आणि तिचे पूर्णपणे कामात रूपांतर करेल प्रश्न हे शक्य आहे का मी म्हणतो उत्तर नाही दुसरा कायदा यास मनाई करतो दुसऱ्या कायदानुसार हे शक्य नाही  $1e$  तरीही लक्षात ठेवा उर्जेचे संवर्धन हा पहिला नियम आहे जो समाधानी आहे मग आम्ही पुन्हा रेफ्रिजरेटरबद्दल बोललो मला ते इंजिन आणि रेफ्रिजरेटर आठवले पाहिजे ज्याबद्दल आपण बोलत आहोत ते सर्व उलट करता येण्यासारखे आहेत या क्षणी तुमच्याकडे अपरिवर्तनीय गोष्टी असू शकतात ज्याबद्दल मी काही चर्चा करेन. मुद्दा पण सध्या चर्चा पूर्णपणे उलट करता येण्याजोगे इंजिन आणि रेफ्रिजरेटरवर आहे याचा अर्थ असा की जर माझ्याकडे इंजिन रिव्हर्स सायकलमध्ये चालत असेल तर मला रेफ्रिजरेटर मिळेल, मग रेफ्रिजरेटर काय आहे रेफ्रिजरेटर उलट क्रमाने काम करते म्हणून माझ्याकडे पुन्हा एक गरम जलाशय आहे. शीत जलाशय  $t_2$  आणि कार्यरत पदार्थ जे या दोन जलाशयांमध्ये बंद चक्रात कार्यरत आहे परंतु फरक असा आहे की तो शीत जलाशयातील उष्णता शोषून घेतो. आणि नंतर त्यातील एक रक्कम जलाशयात टाकतो म्हणजे ते थंड जलाशयातून उष्णता काढते आणि गरम जलाशयात टाकते परंतु हे घडण्यासाठी आमच्याकडे टी. 0 रेफ्रिजरेटरवर काही काम करा ठीक आहे पुन्हा संवर्धन मला सांगते की एक समान आहे  $q$  दोन अधिक  $w$  हे लक्षात ठेवा एअर कंडिशनर्स हे कसे कार्य करतात जर तुम्ही कधीही एअर कंडिशनरच्या वेंटजवळ उभे राहण्याचा प्रयत्न केला तर तुम्हाला कळेल की ते खूप सोडत आहे. गरम वर्ष हे घडते कारण ते खोलीतून उष्णता काढत आहे आणि बाहेरील जगाकडे जास्त उष्णता टाकत आहे जे माझे विश्व आहे ठीक आहे आता आपण कार्यक्षमतेचे गुणांक परिभाषित करतो जे  $q$  दोन बाय  $q$  एक वजा  $q$  दोन आहे ठीक आहे आता आपण प्रश्न विचारा की माझ्याकडे  $q$  एक उणे  $q$  दोन आहे जे  $w$  च्या बरोबरीचे शून्य आहे हे शक्य आहे का ते शक्य असेल तर माझा रेफ्रिजरेटर थंड जलाशयातून उष्णता काढेल आणि ती सतत गरम जलाशयात टाकेल आणि मी रेफ्रिजरेटरवर कोणतेही काम करण्याची गरज नाही जे शक्य आहे किंवा नाही पुन्हा हे शक्य नाही दुसऱ्या कायदाने मनाई केली आहे म्हणून तुम्ही पाहाल की दुसरा कायदा आपल्याला ऊर्जा संवर्धनाच्या पलीकडे नेतो ऊर्जा संरक्षण नेहमीच समाधानी आहे परंतु तरीही माझ्याकडे इंजिन नाही कार्यक्षमतेसह एक किंवा कार्यक्षमतेसह रेफ्रिजरेटर किंवा कार्यक्षमतेचे गुणांक अनंत ठीक आहे आता यासह आपण दुसऱ्या कायद्याच्या योग्य औपचारिक व्याख्येकडे जाऊ या त्याआधी मी तुम्हाला सांगितले होते की दोन प्रकारच्या मशीन्स असण्याची शक्यता आहे पहिली एक शाश्वत गती पहिल्या प्रकारच्या ऐतिहासिकदृष्ट्या भौतिकशास्त्रज्ञ तत्त्वज्ञ हे प्रश्न विचारतात की पहिल्या प्रकारची शाश्वत गती आहे याचा अर्थ काय याचा अर्थ माझ्याकडे एखादे यंत्र असू शकते जे उर्जेच्या इनपुटशिवाय काम करते मी कोणतीही उष्णता ऊर्जा प्रदान करणार नाही परंतु तरीही मी चालू ठेवेन मशीनमधून काम काढणे आणि ते बंद लूपमध्ये कायमस्वरूपी हालचाल असेल हे शक्य आहे का ते शक्य नाही कारण पहिला कायदा आधीच सांगतो की ऊर्जेचे संवर्धन केले पाहिजे, जर माझ्याकडे वेगळी प्रणाली असेल तर मी वेगळ्या प्रणालीमध्ये ऊर्जा निर्माण करू शकत नाही. त्या पृथक प्रणालीमध्ये मी ऊर्जा कशी निर्माण करू शकेन त्यामुळे प्रश्न हा आहे की पहिला कायदा आपल्याला सांगतो की पहिल्या प्रकारची शाश्वत गती आता शक्य नाही माझ्याकडे दुसऱ्या प्रकारचे शाश्वत मशीन असू शकते का या प्रश्नाशी संबंधित आहे याचा अर्थ मला काय म्हणायचे आहे की ते पहिल्या प्रकारापेक्षा वेगळे कसे आहे हा प्रश्न विचारत आहे की आपण गरम जलाशयातून काढलेली संपूर्ण उष्णता ऊर्जा रूपांतरित करू शकतो का? काम करण्यासाठी याचा अर्थ असा की मी तापमान  $t_2$  शी शीत जलाशयाला अजिबात भेटत नाही माझ्याकडे फक्त एक हॉट रिसॉर्ब वायर आहे मी त्यातून थोडी उष्णता काढत आहे आणि जर ते शक्य असेल तर इंजिनची कार्यक्षमता वाढेल. एक ठीक आहे लक्षात ठेवा आपण चक्रीय प्रक्रिया गृहीत धरत आहोत त्यामुळे अंतर्गत ऊर्जेतील बदल शून्य आहे त्यामुळे दुसऱ्या प्रकारची शाश्वत हालचाल होण्यासाठी मी ऊर्जा संवर्धनाचे उल्लंघन करत आहे का नाही ऊर्जा संवर्धन समाधानी आहे तरीही माझ्याकडे कार्यक्षमतेचे इंजिन नाही आणि तरीही माझ्याकडे मशीन नाही जे कायमस्वरूपी जलाशयातील उष्णता शोषून कार्य करत असते आणि त्याचे संपूर्ण रूपांतर ठीक कार्य करण्यासाठी करते हे शक्य नाही म्हणूनच दुसरा कायदा आपल्याला यांत्रिकी यांत्रिकी ज्ञानाच्या पलीकडे नेतो, आपण म्हणतो  $dis$   $ipation$  कमी आहे म्हणून माझ्याकडे उर्जा संरक्षण आहे माझ्याकडे सर्व प्रक्रिया आहेत ज्या येथे उर्जा वाचवतात दुसऱ्या प्रकारच्या उर्जेच्या शाश्वत गतीमध्ये एकूण उर्जा उष्णता उर्जा अंतर्गत उर्जा संरक्षित केली जाते आणि एकत्रित केलेले कार्य संरक्षित केले जाते परंतु तरीही माझ्याकडे असे इंजिन नाही ज्याचे इंजिन नाही कार्यक्षमता एक ठीक आहे म्हणून आता दुसऱ्या कायद्याची औपचारिक व्याख्या थर्मोडायनामिक्सचा दुसरा नियम दोन स्वरूपात ठेवता येईल एक फॉर्म इंजिनच्या संदर्भात आहे दुसरा रेफ्रिजरेटरच्या संदर्भात आहे हे केल्विन आणि प्लॅंक प्लॅंक या दोन महान शास्त्रज्ञांमुळे आहे. क्वांटम मेकॅनिक्सचे जनक देखील जाणून घ्या आणि क्वांटम मेकॅनिक्सचे मूळ थर्मोडायनामिक्सच्या अभ्यासामध्ये लपलेले होते, म्हणजे ब्लॉक बॉडी रेडिएशन वेल काय आहे केल्विन प्लॉंग हे विधान असे म्हणतात की नाही आणि हा एक अतिशय महत्त्वाचा शब्द आहे चक्रीय नाही चक्रीय प्रक्रिया शक्य आहे ज्याचा एकमेव याचा परिणाम म्हणजे जलाशयातून उष्णता शोषून घेणे आणि उष्णतेचे काम करण्यासाठी पूर्ण रूपांतरण म्हणजे इंजिनची कार्यक्षमता एका बरोबरीची नसून ती अल्पा आहे.  $ys$  एकापेक्षा कमी ओके म्हणजे थर्मोडायनामिक्सच्या दुसऱ्या नियमाचे हे केल्विन प्लॅंक विधान आहे थोडक्यात तुम्ही असे इंजिन तयार करू शकत नाही ज्याची कार्यक्षमता एक ठीक आहे, हे मी येथे लिहिले आहे की कार्यक्षमता नेहमी एकापेक्षा कमी असेल तुम्ही कितीही उष्णता पुरवाल तर तुम्हाला कमी प्रमाणात मिळेल. कामाचे आउटपुट आता येथे क्रॉस करा विधान क्लॉसियस विधान रेफ्रिजरेटरच्या संदर्भात आहे कोणतीही चक्रीय प्रक्रिया शक्य नाही ज्याचा एकमात्र परिणाम म्हणजे थंड वस्तूपासून गरम वस्तूमध्ये उष्णता स्थानांतरित करणे म्हणजे रेफ्रिजरेटर कार्यरत करण्यासाठी मला काही काम करावे लागेल ठीक आहे, कोणतीही चक्रीय प्रक्रिया शक्य नाही ज्याचा एकमेव परिणाम म्हणजे उष्णतेचे हस्तांतरण म्हणजे त्याची  $q_2$  रक्कम जर तुम्ही मागील प्रकाशाकडे परत गेलात तर  $q_2$  उष्णता ती शीतगृहातून घेत आहे आणि  $q$  एक रक्कम उष्णतेमध्ये टाकत आहे.  $reservoir$  आणि  $clausius$  स्टेटमेंट म्हणते की त्यावर काही काम केल्याशिवाय हे शक्य नाही आणि म्हणून कोणताही रेफ्रिजरेटर शक्य नाही ज्याचा  $w$  इथे  $w = 0$  आहे म्हणजे रेफ्रिजरेटरवर काम केले आहे आणि म्हणून माझ्याकडे रेफ्रिजरेटर असू शकत नाही जेरेटर जे कार्यक्षमतेच्या गुणांकासह परिपूर्ण आहे ते अनंताकडे झुकते आहे ठीक आहे तुम्ही हे सिद्ध करू शकता की ही दोन समतुल्य विधाने आहेत जर तुम्ही उलट करता येण्याजोगे इंजिन घेतले तर हे समजणे खूप सोपे आहे उलट क्रमाने चालवलेले उलट इंजिन तुम्हाला रेफ्रिजरेटर देते जेणेकरून तुम्ही ताबडतोब स्वतःसाठी तर्क करू शकता की उलट करता येण्याजोग्या इंजिनसाठी ही दोन विधाने प्रत्यक्षात पूर्णपणे समतुल्य आहेत ठीक आहे आता आपण अशा गोष्टीकडे जाऊ या जे अभूतपूर्व

आहे त्याला कार्नाओ इंजिन कार्नाओ इंजिन म्हणतात उलट करता येण्याजोगे इंजिन हे उलट करता येण्यासारखे आहे मी तुम्हाला आठवण करून देतो की सर्व प्रक्रिया अर्ध-स्थिर अर्ध-स्थिर आहेत आणि त्याशिवाय कोणतेही विघटन नाही फॉरवर्ड आणि रिव्हर्स प्रक्रियेमध्ये एक संबंध आहे जे मी तुम्हाला कार्यशील पदार्थाचे स्पष्टीकरण दिले आहे मी तुम्हाला सांगितले आहे की एक कार्यरत पदार्थ असावा मी ते आदर्श वायू असणे आवश्यक नाही म्हणून निवडेन, तुम्हाला लवकरच ते आवश्यक नाही असे दिसले परंतु ते गणना करणे सोपे करते म्हणूनच आम्ही आदर्श वायू निवडा आणि मी पुन्हा एक तीळ निवडा आपण प्राणी करू शकता पुन्हा काही फरक पडत नाही कोणतेही इंजिन आणि रेफ्रिजरेटर पूर्ण चक्रात कार्य करणे आवश्यक आहे आणि मी पुन्हा दोन जलाशय गरम जलाशय टी 1 आणि कोळसा जलाशय टी 2 निवडेन ही उलट करण्यायोग्य इंजिनची व्याख्या आहे जी कार्बन इंजिन म्हणून ओळखली जाते मी तुम्हाला कार्नाओ इंजिनची एक जाणीव देईन जे वापरते येथे आदर्श वायू कार्यक्षमता आहे कारण ती गैर-विघटनशील आहे जास्तीत जास्त असली पाहिजे परंतु एकता नाही जी महत्त्वपूर्ण आहे हा महत्त्वाचा मुद्दा आहे की या आदर्श परिस्थितीतही कार्यक्षमता ही एकता नसून तिचा एक सुंदर वैश्विक संबंध आहे जो कार्यरत पदार्थावर अवलंबून नाही आणि तुम्ही तुमचे थर्मोडायनामिक ऑपरेशन्स ओके कसे करता यावर ते अवलंबून नाही

त्यामुळे ते सार्वत्रिक आहे लक्षात ठेवा सार्वत्रिक म्हणजे कार्यक्षमता जी ओके मोजेल ती कार्यरत पदार्थापेक्षा स्वतंत्र असेल आणि मी थर्मोडायनामिक ऑपरेशन्स ठीक करतो त्या क्रमाने आता हे घेतले आहे विकिपीडियावरून जे मी येथे स्पष्टपणे कबूल केले आहे ते तुम्ही पाहू शकता निकोलस लिओनार्ड सादिक अर्नोल्ड कार्नाओ हा योग्य उच्चार आहे तो फ्रेंच होता *ilitary engineer* आणि बऱ्याचदा थर्मोडायनामिक्सचा जनक म्हणून वर्णन केलेले हे कार्नाओ एक लष्करी अभियंता होते आणि त्याने फक्त एकच प्रकाशन लिहिले आणि ज्यामध्ये त्याने हे कार्नाओ इंजिन प्रस्तावित केले त्याचे काम क्लॉशियस आणि केल्विन यांच्या आधी कमी-अधिक प्रमाणात विसरले गेले होते हे दोन प्रसिद्ध शास्त्रज्ञ तुम्हाला आधीच परिचित आहेत. जेव्हा मी तुम्हाला थर्मोडायनामिक्सच्या दुसऱ्या नियमाचे औपचारिक वर्णन केले तेव्हा या दोन प्रसिद्ध शास्त्रज्ञांनी कार्नाओच्या कार्याचे पुनरुत्थान केले आणि आता कार्नाओला थर्मोडायनामिक्सचा जनक म्हणून ओळखले जाते कारण त्याने आम्हाला एक एन्झाइम ओके शोधण्यासाठी एक प्रक्रिया दिली ज्याची जास्तीत जास्त कार्यक्षमता असू शकते. परंतु एकही ठीक नाही, म्हणून आपण कार्बन इंजिनला उलट करता येण्याजोगे स्मरण करून देण्याची गरज नाही परिभाषित करू या, त्यात चार प्रक्रिया समतापीय विस्ताराचा समावेश आहे, म्हणून  $p v$  आकृतीमधील  $p$  one  $v$  one  $t$  one या बिंदूपासून सुरुवात करा ठीक आहे प्रथम तुमच्याकडे समतापीय विस्तार आहे जो तुम्हाला  $p$  वन  $v$  वन पासून घेऊन जातो. टी वन ते पी टू टू टी वन तापमान निश्चित आहे दुसरी पायरी म्हणजे अॅडियाबॅटिक विस्तार जो तुम्हाला पी टू व्ही टू टी वन वरून घेतो परंतु आता तापमान  $e$  आता स्थिर नाही कारण मी तुम्हाला मागील लेक्चरमध्ये वारंवार सांगितले होते की अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया क्लिष्ट आहे या अर्थाने सर्व थर्मोडायनामिक व्हेरिएबल्स म्हणजे प्रेशर व्हॉल्यूम आणि तापमान ते बदलतात

त्यामुळे  $p$  दोन  $v$  दोन  $t$  एक ते  $p$  तीन  $v$  तीन  $t$  दोन ठीक आहेत. आयसोथर्मल  $x$  कॉम्प्रेसन म्हणजे  $p$  थ्री  $v$  थ्री  $t$  वरून  $p$  चार  $v$  चार  $t$  दोन इसोथर्मल म्हणून तापमान स्थिर ठेवले जाते आणि त्याचे कॉम्प्रेसन  $v$  3 पेक्षा कमी असते आणि त्यामुळे शेवटी पुन्हा अॅडियाबॅटिक कॉम्प्रेसनने प्रक्रिया पूर्ण करा  $p$  4  $v$  4  $t$  2 ते  $p$  1  $v$  1  $t$  1 काय महत्त्वाचे आहे तुम्ही  $p$  one  $v$  one  $t$  one ने चार प्रक्रिया वापरून सुरुवात केली तुम्ही  $p$  one  $v$  one  $t$  one वर परत येत आहात त्यामुळे तुम्ही बंद लूप करत आहात आणि काही विधाने लक्षात ठेवा. मी खाली लिहिले आहे की प्रक्रिया कोणत्याही क्रमाने कार्यान्वित केल्या जाऊ शकतात ठीक आहे मी आदर्श वायू एक तीळ निवडत आहे हे सुनिश्चित करण्यासाठी की प्रारंभिक आणि अंतिम अवस्था समान आहेत म्हणून आपण येथे बंद लूप परत या या चार प्रक्रिया  $p$  one  $v$  one  $t$  one सुनिश्चित करतात. शेवटच्या टप्प्यावर अंतिम चरण आणि ते देखील सुरुवातीच्या चरणात आपण पूर्ण केलेल्या कामाची गणना करू आणि बंद लूपवर शोषलेली उष्णता ठीक आहे आणि अंतर्गत ऊर्जेतील बदल बंद चक्रात 0 आहे, त्यामुळे मी अंतर्गत उर्जेचा विचार करणार नाही, मी फक्त केलेले काम आणि उष्णता शोषून घेत आहे. प्रत्येक प्रक्रियेमध्ये अंतर्गत ऊर्जेमध्ये बदल होण्याची शक्यता असते उदाहरणार्थ येथे उदाहरणार्थ येथे आणि आदर्श वायूमध्ये अंतर्गत ऊर्जा तापमानावर अवलंबून असते त्यामुळे या दोन प्रक्रियांमध्ये अंतर्गत ऊर्जा बदलत नाही परंतु या दोन प्रक्रियांमध्ये दोन आणि चार अंतर्गत ऊर्जा बदलली पाहिजे अशा प्रकारे की एकूणच अंतर्गत ऊर्जेतील बदल शून्य बरोबर आहे हे सर्व शब्द आहेत परंतु आपण प्रत्यक्षात चित्रांकडे जावे आणि मी तुमच्यासाठी एक कार्नाओ इंजिन काढतो म्हणून हा माझा  $p v$  आकृती आहे  $p v$  हा माझा प्रारंभिक बिंदू आहे  $p$  one  $v$  एक आणि टी वन मी दोन प्रक्रिया काढतो ठीक आहे, तुम्हाला लगेच कळेल की कोणती अॅडियाबॅटिक आहे कोणती एक समतापिक आहे, उतारावरून तुम्हाला माहिती आहे की हे समतापीय आहे, जर मला अॅडियाबा घ्यायचे असेल तर हे अॅडियाबॅटिक असणे आवश्यक आहे  $t i c$  इथून हा माझा दुसरा मुद्दा आहे आपण म्हणू या जे  $a h$   $p$  2  $v$  2 आहे पण  $t$  निश्चित  $t$  एक आहे त्यामुळे ही माझी पहिली प्रक्रिया आहे ठीक आहे इथे पुन्हा तुम्हाला ही प्रक्रिया माहित आहे ही प्रक्रिया मला  $p$  तीन  $v$  तीन वर घेऊन जाते आणि उतारावरून पुन्हा तुम्हाला माहिती आहे की ही एक अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया आहे जी मला तापमान  $t$  दोन वर घेऊन जाते आणि शेवटी मी पुन्हा एक समथर्मल करतो हा दोन बिंदू वक्र येथे भेटला पाहिजे आणि तो अधिक सममितीय असावा मला माफ करा रेखाचित्र परिपूर्ण नाही पण मला ते बनवण्याचा प्रयत्न करू द्या अधिक चांगले ढोबळमानाने हे तुम्हाला तुमच्या पुस्तकांमध्ये चांगले चित्र मिळू शकते ही एक सतत ओळ आहे म्हणून तुम्ही पहात आहात की ही एक अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया आहे जी तुम्हाला  $p$  3  $v$  3 आणि  $t$  2 तापमानात बदल करते, हे समतापीय आहे, हे समतापीय आहे हे समतापीय आकृंचन आहे.  $p$  4  $v$  4 वर पण ते समतापीय असल्यामुळे ते पुन्हा  $t$  2 आणि नंतर हे *adiabatic* कॉम्प्रेसन तुम्हाला प्रारंभिक बिंदू  $p$  1  $v$  1 आणि  $t$  1 वर परत आणते म्हणून कृपया लक्षात ठेवा हा एक सतत वक्र आहे मी ते अधिक चांगले बनवण्याचा प्रयत्न करतो कदाचित आता तुम्ही पहिले पहा. हे तुझे आहे पायरी एक दोन तीन चार आपल्या चरणांचे समतापिक विस्तार काय होते ते आठवूया, हा एक अॅडियाबॅटिक विस्तार आहे हा एक पायरी दोन समतापीय संक्षेप हा माझा टप्पा तीन आहे आणि नंतर अॅडियाबॅटिक कॉम्प्रेसन जे हे एक आहे ठीक आहे आता त्यानुसार मी इंजिनचे हे मूलभूत चित्र काढतो जे आम्ही हाताळत आहोत  $t$  एक  $t$  दोन  $q$  एक उष्णता शोषून घेतलेले  $q$  दोन हीटर थंड जलाशयात सोडले जाते  $t$  दोन डब्ल्यू तापमान हे इंजिनद्वारे केलेले कार्य आहे हे पहा म्हणून मी तापमान  $t$  तापमानात गरम जलाशयाच्या समतोल राखून प्रणाली ढवळली. एक नंतर ते व्हॉल्यूम  $v$  दोन पर्यंत वाढवू द्या ठीक आहे काही काम करणे आवश्यक आहे ज्याची आपण गणना करू

त्यामुळे ते व्हॉल्यूम  $v$  2 पर्यंत विस्तृत होईल परंतु थर्मलली समतोल असलेल्या गरम जलाशयासह  $t$  1 ठीक आहे मी केलेल्या कामाची गणना करेन पण ते हे लक्षात घेणे खूप सोपे आहे की ते टी वन सह थर्मल समतोल आहे आणि व्हॉल्यूम  $v$  वन वरून व्हॉल्यूम व्ही दोन वर जाते म्हणून मी त्याला विस्तार म्हणतो आणि ही या प्रक्रियेत शोषली जाणारी उष्णता आहे  $q$  एक ठीक आहे आता ही प्रक्रिया जाहिरात आहे *iabatic* तुम्हाला उतार पाहून कळते की हा वक्र खूप सममितीय असावा जो मी काढू शकलो नाही आता तुम्ही पहात आहात की हे अॅडियाबॅटिक आहे

त्यामुळे या प्रक्रियेत उष्णता शोषली जात नाही आणि ही प्रक्रिया  $p$  3  $v$  3 आणि  $t$  2 वर घेऊन जाते त्यामुळे ते तापमानात येते कोल्ड रिझॉल्व्हरचे आता ते थंड जलाशयात उष्णता टाकण्यास सुरुवात करते  $i$  या प्रक्रियेत व्हॉल्यूम  $v$  4 पर्यंत कॉम्प्रेसनला परवानगी देतो  $q$  2 उष्णता सोडली जाते आणि शेवटी ही प्रक्रिया अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया ती  $p$  1  $v$  1  $t$  1 वर आणते प्रारंभिक स्थिती आणि चक्र चालू राहते चक्र चालू राहते ठीक आहे

त्यामुळे तुम्ही गरम जलाशयाच्या समतोल स्थितीत  $p$  वन  $v$  वन टी वन ने सुरुवात केली आहे, त्यानंतर एक विस्तार होतो आणि त्यानंतर अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया होते जी तापमान  $t$  टू पर्यंत घेते जे शीत जलाशयाचे तापमान असते मग मी कॉम्प्रेसनला परवानगी देतो जे ते व्हॉल्यूम  $v$  चार वर परत आणते नंतर आणखी एक अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया ठीक आहे ही दोन समतापीय प्रक्रिया आणि नंतर एक अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया मला  $p$  वन  $v$  वन टी वन वर परत आणते या दोन प्रक्रियांचे तापमान येथे निश्चित केले आहे येथे गरम जलाशयाचे तापमान आहे तापमान चरण 3 तापमान हे शीत जलाशयाचे आहे आणि 2

आणि 4 नैसर्गिकरित्या अॅडियाबॅटिक असल्याने उष्णता विनिमय होत नाही आणि हे चक्र चालूच राहते मी आता या इंजिनच्या कार्यक्षमतेची गणना करणे आणि म्हणून ते फक्त  $t_1$  वर अवलंबून आहे आणि  $t_2$  या कार्नाट इंजिनच्या कार्यक्षमतेची गणना करण्यासाठी मला केलेल्या कामाची गणना करावी लागेल आणि केलेल्या कामाच्या बाबतीत प्रत्येक प्रक्रियेत शोषलेली किंवा सोडलेली उष्णता देखील मोजावी लागेल. प्रणालीवर प्रणाली सकारात्मक आहे नकारात्मक आहे आपण पुढे जाऊ या म्हणून पहिले पाऊल एक पाऊल एक पाऊल एक काय होते ते आपण जाऊ या ही पायरी एक आहे त्याचा समतापीय विस्तार आम्ही आधीच रक्तरंजित तपशीलांमध्ये मोजला आहे काय काम पूर्ण केले आहे हे आहे आणि तुम्ही या चित्रातून पाहू शकता की  $ok$   $v$  दोन  $v$  एक  $v$  दोन पेक्षा जास्त  $v$  एक  $v$  एक पेक्षा मोठे आहे म्हणून हे अर्थातच एक सकारात्मक प्रमाण आहे

त्यामुळे उष्णता शोषली जाते

त्यामुळे  $q$  एक देखील सकारात्मक परिमाण आहे म्हणून मी शारीरिकदृष्ट्या तर्क करण्याचा प्रयत्न करीत आहे की येथे  $s$  system काही काम करते आणि त्यातील उष्णता आणि रक्कम शोषून घेते जी हॉट रिझॉल्व्हरमधून  $q$  एक आहे  $ok$  दुसरी प्रक्रिया दुसरी प्रक्रिया  $adiabatic$  विस्तार आहे ठीक आहे

त्यामुळे ही माझी प्रक्रिया क्रमांक दोन आहे या प्रक्रियेतील  $q$   $2$   $0$  आहे हे उघड आहे की ही एक  $adiabatic$  प्रक्रिया आहे आणि आम्ही केलेल्या कामाची गणना केली आहे जर तुम्हाला हे लक्षात असेल की या प्रक्रियेत केलेले कार्य आहे अंतर्गत उर्जेमध्ये बदल आहे मला आठवते डेल्टा  $w$  क्यू शून्य आहे परंतु डेल्टा  $w$  हा उणे  $du$  ओके आहे या सर्व मर्यादित प्रक्रिया आहेत तरीही हे कार्य केले आहे जे मी गणना करू शकतो  $q$  दोन शून्य बरोबर आहे उष्णता शोषली नाही आपण तिसऱ्या प्रक्रियेकडे जाऊ या तिसरी प्रक्रिया काय होती तिसरी प्रक्रिया येथे आहे मी एक समतापीय कॉम्प्रेसन करत आहे आपण काय केले आहे ते मोजू या मागील प्रमाणेच अभिव्यक्ती इथे फक्त मी  $v_3$  वरून  $b_4$  वर जात आहे हे  $v$  तीन आहे  $v$  चार चांगले आहे म्हणून ते  $v$  चार बाय  $v$  तीन असले पाहिजे पण लक्षात ठेवा की आपण या चित्रातून पाहू शकता की  $v$  चार हे  $v$  तीन पेक्षा लहान आहे म्हणून ते नकारात्मक येते जिथे ही गोष्ट पॉझिटिव्ह आहे तिथे सही करा  $ive$  चिन्ह नकारात्मक आहे ते मला सांगते की काय केले जाते फक्त प्रणाली आणि प्रणाली उष्णता सोडते म्हणून ही ती उष्णता सोडते जेथे थंड जलाशयात जे तापमान  $t$  दोन हे तापमान  $t$  एक आणि दोन ते बदलत नाहीत कारण मी गृहीत धरले आहे माझ्या वायर्स खूप मोठ्या आहेत येथे ही उष्णता शोषली जाते येथे उष्णता सोडली जाते आणि या चार एकत्र घेतल्याने मला निव्वळ काम मिळते आणि अंतर्गत उर्जेमध्ये निव्वळ बदल शून्य असतो या प्रक्रियेत अंतर्गत उर्जेमध्ये काही बदल होतो ज्याची भरपाई समान आणि चौथ्या चरणात अंतर्गत ऊर्जेतील विरुद्ध बदल ठीक आहे, इथेही ती एक अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया आहे

त्यामुळे डेल्टा  $w$  समान आहे वजा  $du$  आणि  $du$  समान आहे आणि प्रक्रिया दोन आणि प्रक्रिया चार मध्ये विरुद्ध आहे आता आम्हाला सर्वकाही मिळाले आहे आपण कार्डीनल इंजिनची कार्यक्षमता मोजू शकतो का? आता आपण ते अगदी सहज करू शकतो प्रत्यक्षात आपल्याला केलेल्या कामाबद्दल काळजी करण्याची गरज नाही आपण अशा प्रकारे पुढे जाऊ शकतो कार्नाट साखळीची कार्यक्षमता ही  $q_1$  द्वारे केली जाणारी कार्य आहे परंतु उर्जेचे संवर्धन हे मला सांगते  $q$  एक वजा  $q$  दोन च्या बरोबरीचे व्हा जर मी हे वापरत असलो तरी मी केलेल्या कामाची गणना केली आहे हे काम माझ्या उद्देशासाठी अजिबात आवश्यक नाही माझ्याकडे एटा आहे  $q_1$  वजा  $q_2$  बाय  $q_1$  जे  $1$  वजा  $t_2$  बाय बरोबर आहे ह्याचा  $t_1$  लॉग आणि ह्याचा लॉग मी हे कसे मिळवू शकतो मला हे फक्त या अभिव्यक्ती वापरून मिळते आणि ही अभिव्यक्ती एकदा मी हे दोन अभिव्यक्ती वापरल्यानंतर मला लगेच हा परिणाम मिळतो पण आता एक समस्या आहे की ही अभिव्यक्ती खूप क्लिष्ट आहे इथे त्यात समाविष्ट आहे  $v$  एक  $v$  दोन  $v$  तीन  $v$  चार अशा बंद चक्रात व्हॉल्यूम घेऊ शकणारी सर्व मूल्ये तेव्हाच सोपी होतात जेव्हा मी यापासून मुक्त होऊ शकतो आणि तापमानाच्या दृष्टीने व्यक्त करू शकतो जे या दोन प्रक्रिया वरवर पाहता ते खेळतात. कोणतीही भूमिका नाही कारण मी या प्रक्रियेत सामील असलेल्या  $q_1$  ची गणना करत आहे मी या प्रक्रियेत सामील असलेल्या  $q_2$  ची गणना करत आहे,

त्यामुळे वरवर पाहता या दोन प्रक्रिया उपयुक्त ठरत नाहीत, तरीही त्यांना शेवटी  $p$  one  $v$  one  $t$  one वर परत येणे आवश्यक आहे. पूर्ण  $c$   $ycle$  पण ते खरंच खूप महत्त्वाची भूमिका बजावतात जी मी इथे दाखवणार आहे. तुम्हाला  $adiabatic$  प्रक्रिया दोन मार्गांना जोडते उजव्या पायरी दोन आणि पायरी चार अशा दोन प्रक्रिया आता अॅडियाबॅटिक मार्गात आमच्याकडे नेहमी  $p$   $v$   $\gamma$   $is$   $equal$   $to$   $c$  आहे. वारंवार चर्चा केली आहे आता तुम्ही पाहत आहात की हा एक आदर्श वायू आहे म्हणून पाव हा  $r$   $t$   $a$  एक तीळ सारखा असणे आवश्यक आहे म्हणूनच नाही  $n$  नेहमी अॅडियाबॅटिक प्रक्रियेवर असतो म्हणून मी  $p$  ला  $t$  च्या संदर्भात बदलू शकतो इथे मी  $p$  या समीकरणातून पूर्णपणे बाहेर पडू शकतो आणि जर तुम्हाला तवा गामा वजा एक म्हणजे  $c$  आहे इतर काही स्थिरांक काही इतर स्थिर ठीक आहे असे तुम्हाला आवडत असेल तर  $t$   $v$  प्लेनमध्ये  $adiabatic$  path लिहा

त्यामुळे तुम्ही लगेच पाहू शकता की मी  $p$   $v$   $\gamma$   $is$   $equal$   $to$   $constant$  देखील लिहू शकतो. म्हणून मी नेहमी  $p$   $v$  आकृती काढत होतो आणि हा माझा अॅडियाबॅटिक मार्ग आहे म्हणजे  $p$   $v$  गॅमा स्थिरांकाच्या बरोबरीचा आहे ज्याचा अर्थ असा आहे की जर मी प्रत्येक बिंदूवर तापमान मोजले तर टीव्ही गॅमा वजा एक हा देखील स्थिर ओके टीव्ही  $\gamma$  पॉवर गामा वजा एक देखील आहे. एक स्थिर नाही  $c$  म्हणून स्थिर आहे म्हणून आता या दोन मार्गांवर परत जा हे  $v$  दोन  $t$  एक ते  $v$  तीन  $t$  दोन जोडते म्हणून माझ्याकडे हा संबंध  $t$  वन  $v$  दोन गॅमा वजा  $1$   $t_2$   $v_3$  गॅमा वजा  $1$  असणे आवश्यक आहे हे मी नियुक्त केलेल्या या मार्गावर नेहमीच खरे असले पाहिजे पायरी क्रमांक दोन द्वारे आता चरण क्रमांक चार वर जा तुमच्याकडे काय आहे  $4$   $t$   $2$   $v$   $1$   $t$   $1$  शी जोडलेले आहे ते  $adiabatic$  path द्वारे देखील ठीक आहे

त्यामुळे मला  $t$   $1$   $v$   $1$   $\gamma$   $minus$   $1$   $t$   $2$   $v$  चार पॉवर गॅमा असणे आवश्यक आहे वजा एक म्हणजे हे दोन पायरीशी संबंधित आहे हे चौथ्या पायरीशी संबंधित आहे का ते उपयुक्त आहे मग तुम्ही सहज पाहू शकता ते खूप उपयुक्त आहे आता मी हे समीकरण वापरून लिहू शकतो  $v_2$  द्वारे  $v_3$  सहज लिहू शकतो कारण या  $v_1$  द्वारे  $v_4$  मध्ये हे आहे. माझ्याकडे इथे काय आहे  $v_3$  बाय  $v_4$  आणि  $v_2$  द्वारे  $v$  एक ठीक आहे मी काय करू शकतो मी सर्वकाही बदलू शकतो जेणेकरून तुम्ही या दोन समीकरणांवरून पाहू शकता मी लगेच निष्कर्ष काढू शकतो की  $v$  तीन बाय  $v$  चार म्हणजे  $v$  दोन बाय  $v$  वन एकदा माझ्याकडे हे  $v$  तीन बाय  $v$  चार म्हणजे  $v$  दोन बाय  $v$  एक झाले की मी ही दोन समीकरणे एकत्र विचारात घेतल्यावर तुम्ही लगेच  $s$  करू शकता  $EE$  ते  $v$  दोन द्वारे  $v$   $v_3$  किंवा मी  $v_3$  द्वारे  $v_4$  आहे  $v_2$  द्वारे  $v_1$  लिहू शकतो मी ते लगेच येथे परत करतो मला कार्यक्षमता मिळते  $1$  वजा  $t_2$  by  $t_1$  आहे हा एक विलक्षण परिणाम आहे जो तुम्हाला दिसत आहे की कार्नाट इंजिनची कार्यक्षमता फक्त  $t_2$  द्वारे दिली जाते आणि  $t_1$  काय आहे  $t_2$  आणि  $t_1$  मला आठवते  $t_2$  हे थंड जलाशयाचे तापमान आहे  $t_1$  हे उष्ण जलाशयाचे तापमान आहे ते इतर कशावरही अवलंबून नाही ते मी कोणत्या मार्गाने प्रक्रिया पार पाडली यावर अवलंबून नाही आणि  $q_2$  ज्याची गणना कशी करावची हे मी मनापासून शिकलो आहे मग मला एक समस्या आली ज्यामध्ये  $v_3$   $v_4$   $v_2$   $v_1$  समाविष्ट आहे ठीक आहे याचा अर्थ सर्व व्हॉल्यूम व्हॉल्यूम पूर्ण लूपमध्ये घेऊ शकतात परंतु ते मला थांबवत नाही कारण मला चरण दोन आणि चरण माहित आहेत  $4$  ते दोन्ही अॅडियाबॅटिक प्रक्रियेतील अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया आहेत  $p$   $v$  गॅमा एका आदर्श वायूसाठी स्थिर आहे मी ते नेहमी टीव्ही गॅमामध्ये बदलू शकतो वजा  $1$  स्थिरांक बरोबर आहे लगेच दोन अॅडियाबॅटिक प्रक्रिया पायरी दोन देते मला हे नाते देते पायरी चार मला हा संबंध देते मी लगेच  $v$   $th$  ने  $v$  दोन मिळवा  $ree$  आणि  $v$  एक बाय  $v$  चार फक्त तापमानाच्या संदर्भात आणि ते मला लगेच देते  $v$  तीन बाय  $v$  चार हे  $v$  दोन बाय  $v$  एक च्या बरोबरीचे असले पाहिजे जर मी ते इथे परत बदलले तर ही अभिव्यक्ती इथे परत बदलली तर मला लगेच कळते की काय आहे कार्यक्षमता ती  $1$  वजा  $t_2$  बाय  $t_1$  आहे

त्यामुळे ती प्रक्रियेवर अवलंबून नाही ज्या क्रमाने मी माझ्या थर्मोडायनामिक प्रक्रिया चालवल्या आहेत आता प्रश्न येतो की ते नेहमी एकापेक्षा कमी का असते जर तुम्हाला ती एक समान हवी असेल तर तुमच्याकडे असणे आवश्यक आहे  $t$  दोन हे शून्याच्या बरोबरीचे आहे परंतु तुम्हाला माहित आहे की निरपेक्ष

शून्यापर्यंत पोहोचता येत नाही आम्हाला माहित आहे की आम्ही परिपूर्ण शून्यापर्यंत पोहोचू शकत नाही जर मी परिपूर्ण शून्यापर्यंत पोहोचू शकत नाही तर माझ्याकडे थंड जलाशय असू शकत नाही जो तापमानात निरपेक्ष शून्य असेल तर मी पूर्ण शून्यापर्यंत पोहोचू शकत नाही आणि मी मिळवू शकत नाही. एक शीत जलाशय जो केल्विन स्केलमध्ये तापमान निरपेक्ष शून्यावर आहे कारण आम्हाला माहित आहे की ते गाठले जाऊ शकत नाही तर माझ्याकडे कार्यक्षमतेसह कार्नोट इंजिन असू शकत नाही म्हणून एक उलट करता येणारे इंजिन माझ्याकडे नेहमी एकापेक्षा कमी कार्यक्षमता असेल हे मला सांगते की काय स्थिती होती केल्विन पंप प्लांट फॉर्ममध्ये थर्मोडायनामिक्सच्या दुसऱ्या नियमानुसार तुम्ही कर्नल इंजिनला रेफ्रिजरेटरच्या स्वरूपात चालवू शकता आणि त्याच निष्कर्षापर्यंत पोहोचू शकता की तुम्ही पूर्ण शून्यापर्यंत पोहोचू शकत नाही आणि नंतर तुमच्याकडे असे इंजिन असू शकत नाही ज्याची कार्यक्षमता तुम्ही करू शकत नाही. एक रेफ्रिजरेटर आहे ज्याचे कार्यप्रदर्शन गुणांक अनंत आहे हे आपल्याला कार्डिनल इंजिनबद्दल बरेच काही सांगते नंतर मी एन्ट्रॉपी नावाची काही कल्पना वापरून ही कार्यक्षमता देखील मोजेन जी एक विस्तृत व्हेरिएबल आहे आणि ज्याला टीएस डायग्राम म्हणतात मी आतापर्यंत  $p_v$  आकृतीबद्दल बोलत आहे आणि जर तुम्हाला गॅसच्या अवस्थेचे समीकरण माहित आहे, तुमचा  $p_v$  आकृती पाहता तुम्ही लगेच  $v_t$  आकृती किंवा  $p_t$  आकृती तयार करू शकता पण मी एक नवीन विस्तृत व्हेरिएबल सादर करेन ज्याला एन्ट्रॉपी म्हणतात आणि तुम्हाला एन्ट्रॉपीची संकल्पना वापरून थर्मोडायनामिक्सचा दुसरा नियम सांगेन. आणि तुमच्यासाठी कर्नल इंजिन पुन्हा करा आणि कार्यक्षमतेसाठी त्याच निकालावर पोहोचा ठीक आहे आता आपण काहीतरी प्रस्तावित करूया ज्याला कार्नोट  $t_h$  म्हणून ओळखले जाते. ईओरेमला दोन उष्णता जलाशय दिले आहेत एक मांसाहारी इंजिन रिझर्सिबल इंजिनची कमाल कार्यक्षमता आहे ठीक आहे लवकरच मी कर्नल प्रमेयचा हा पहिला भाग काही विशेष सेटअप आणि युक्तिवाद वापरून विस्तृत करण्याचा प्रयत्न करेन. रिझर्व्हर्स दिलेले रिझोल्युअर म्हणजे टी वन टी दोन दिलेले दोन हीट रिझर्व्हर्स म्हणजे टी वन आणि टी दोन फिक्स करणे, टी वन आणि टी टू फिक्सिंग दोन दिलेल्या जलाशयांमध्ये काम करणा -या रिझर्सिबल इंजिनची समान कार्यक्षमता समान आहे ठीक आहे हे दोन भाग आहेत कर्नल प्रमेय ठीक आहे पण दुसऱ्या भागात काय अधिक महत्त्वाचे आहे कार्यशील पदार्थ म्हणून तुम्ही काहीही निवडले तरी फरक पडत नाही मी आदर्श वायू निवडला आहे परंतु एखाद्याने व्हॅन डेर वॉल्स निवडले असते परंतु कार्यक्षमतेमुळे ते सोपे सार्वत्रिक बदलत नाही कार्यक्षमतेचे स्वरूप टी दोन बाय टी एक ते खरोखर बदलत नाही आणि कार्यरत पदार्थ किंवा ऑपरेशनल तपशीलांकडे दुर्लक्ष करून जे  $h$  म्हणजे मी तुम्हाला वारंवार सांगतोय याचा अर्थ तुम्ही तुमची कार्नोट सायकल कोणत्या क्रमाने पार पाडत आहात हे महत्त्वाचे नाही, उदाहरणार्थ कोणी इथून  $p_3 v_2 t_2$  किंवा इथून किंवा इथून सुरुवात केली असेल याने तुम्ही कोणता क्रम लावला आहे हे महत्त्वाचे नाही. ऑपरेशनची कार्यक्षमता पुन्हा 1 वजा  $t$  दोन बाय  $t$  एक आणि नेहमी एक पेक्षा कमी होईल कारण  $t$  दोन परिपूर्ण शून्य असू शकत नाही तर तुम्ही मला विचारू शकता की तुम्ही आदर्श वायू का निवडत आहात कारण या सर्व कामांची गणना करणे खूप सोपे आहे आणि उष्मा शोषून घेणे आम्ही आमच्या मागील व्याख्यानांच्या संचामध्ये केले आहे ते आम्ही त्यांना मनापासून ओळखतो हे अगदी सोपे आहे ज्यामुळे विशिष्ट उष्णता तापमानापासून स्वतंत्र असते हे सोपे करते जर तो मोनो अणुवायू असेल ज्याचा मी नेहमी विचार करतो तो तीन बाय दोन आहे  $n k_B$  जो  $k_B$  आहे तो बोल्ट्झमन स्थिरांक आहे त्यामुळे तुम्ही पाहिल की ते तापमानापेक्षा स्वतंत्र आहे, मी व्हॅन डेर वॉल्ससाठी अशीच गणना करू शकतो का हो तुम्ही ते करू शकता परंतु व्हॅन डेर वॉल्स गॅस येथे क्लिष्ट होईल  $c_v$  हे तापमानाचे कार्य आहे असे गृहीत धरल्यास ते तरीही जीवन फार क्लिष्ट नाही पण ते व्हॉल्यूमचे कार्य देखील असू शकते त्यामुळे समीकरणे आणि गणिते क्लिष्ट होतात म्हणूनच आपण आदर्श वायूला चिकटून राहतो आणि माझ्यावर विश्वास ठेवा की कार्यक्षमतेत फरक पडत नाही तो नेहमी गरम जलाशयाच्या तपमानावर आणि कोल्ड रिझोल्वरद्वारे निर्धारित केला जातो. ठीक आहे यासह मी तुमच्यासाठी कर्नल प्रमेयाचा एक भाग ठीक आहे हे सिद्ध करण्याचा प्रयत्न करेन ठीक आहे तो भाग कोणता आहे तो भाग म्हणजे जर मी उलट करता येणारे इंजिन आणि अपरिवर्तनीय इंजिन घेतले ज्यामध्ये डिसिपेशन ओके असेल तर उलट करण्यायोग्य कर्नल इंजिनची कार्यक्षमता नेहमीच जास्त असेल अपरिवर्तनीय इंजिनपेक्षा हा भाग मी तुमच्यासाठी थर्मोडायनामिक्समध्ये वाद घालण्याचा प्रयत्न करेन, ही सुंदर गोष्ट आहे ती मुख्यतः युक्तिवादावर आधारित आहे ती फारशी गणिती नाही आम्ही आतापर्यंत गणित वापरले आहे एक भिन्नता आणि कधी कधी उल्लेख नाही मी आंशिक भिन्नता वापरली आहे ठीक आहे रेफ्रिजरेटर म्हणून चालवल्या जाणाऱ्या कार्नोट इंजिन  $c$  चा विचार करणे काय आहे जे फार महत्त्वाचे आहे कर्नल इंजिन पुन्हा म्हणून चालवले जात आहे फ्रिजरेटर आणि अपरिवर्तनीय इंजिन  $i$  कार्नोट इंजिन  $c$  द्वारे दर्शविले जाते येथे सार्वत्रिक इंजिन  $i$  द्वारे दर्शविले जाते जे येथे आहे ठीक आहे दोन्ही गरम जलाशयाचे तापमान  $t$  एक आणि थंड जलाशयाचे तापमान  $t$  दोन समान दोन विकारांदरम्यान चालवले जात आहेत हे महत्त्वाचे आहे कारण कॉन्ट्रो प्रमेय नेहमी दिलेल्या दोन रिझोल्वरचा उल्लेख करतो म्हणजे  $t_1$  आणि  $t_2$  फिक्स करणे म्हणजे जर तुम्ही हे बदलले तर जलाशयांचे तापमान नेहमी बदलते कार्नोट प्रमेय खरे ठरत नाही पण नेमकेपणाने तुम्ही कार्बन इंजिनबद्दल बोलू शकत नाही नेहमी तुम्हाला तुमचे इंजिन आणि रेफ्रिजरेटर चालवावे लागतात. तेच दोन रिझोल्वर्स ठीक आहे, तर आधी लक्षात ठेवा माझ्याकडे कार्नोट इंजिन आहे हे  $c$  हे कार्बन इंजिन रेफ्रिजरेटर म्हणून चालवले जात आहे, म्हणून मी प्रथम या गरम जलाशय टी1 वर लक्ष केंद्रित करू आणि हे कार्गो इंजिन जे रेफ्रिजरेटर म्हणून चालवले जात आहे ते काय करेल? ते गरम रिझोल्वरवर उष्णता टाकेल हे  $q_1$  आहे आणि ते रेफ्रिजरेटर असल्याने दुसरा कायदा मला आधीच सांगतो की मला त्यावर काही काम करावे लागेल. इथून किती उष्णता घ्यावी लागेल संवर्धन मला सांगते की  $q$  एक उणे  $w$  वर हिट होईल म्हणून हे कार्नोट रेफ्रिजरेटर आहे कार्नोट रेफ्रिजरेटर चांगले ते काय करते ते थंड जलाशयातील उष्णता शोषून घेते जी  $q$  एक वजा  $w$  रक्कम आहे त्यावर काम केले जात आहे आणि ते गरम जलाशयात  $q$  एक उष्णता टाकते जे तापमान  $t$  एक आहे आता अपरिवर्तनीय इंजिन येते ठीक आहे ते दोन्ही पूर्ण चक्रात काम करत आहेत कृपया लक्षात ठेवा ते गरम पासून उष्णता  $q_1$  शोषत आहे जलाशय हे चालत आहे जे प्राइम आहे आणि संवर्धन मला सांगते की कोल्ड रिझोल्वरला  $q$  एक उणे  $w$  प्रमाणात उष्णता दिली पाहिजे म्हणून हे माझे अपरिवर्तनीय इंजिन आहे  $i$  म्हणून हे अपरिवर्तनीय आहे आणि हे इंजिन आहे हे एक म्हणून ऑपरेट केले जात आहे इंजिन तुम्ही पाहू शकता की ते गरम जलाशयातून  $q$  एक उष्णता घेते व कामाची प्राथमिक रक्कम देते आणि उर्वरित उष्णता  $q_1$  उणे  $w$  प्राइम तापमान  $t_2$  वर थंड जलाशयात टाकली जात आहे आता कर्म एक म्हणून चालवले जात आहे रेफ्रिजरेटर टी कोल्ड रिझोल्वरकडून उष्णता  $q$  एक उणे  $w$  वर काम केले जात आहे आणि  $q$  एक प्रमाणात उष्णता ते हॉट रिझोल्वरला सोडते म्हणून आता आम्ही या संमिश्र प्रणालीकडे पाहतो मी तुम्हाला सर्वात जास्त सांगेन थर्मोडायनामिक्सचे युक्तिवाद या संमिश्र प्रणालीच्या संरचनेवर आधारित आहेत आणि म्हणून दोन जलाशय समान असणे खूप महत्त्वाचे आहे अन्यथा हे युक्तिवाद पुढे जात नाहीत म्हणून संमिश्र प्रणाली पहा आणि आपण निळा प्राइम डब्ल्यू आहे असे गृहीत धरू आणि प्रश्न विचारू की हे शक्य आहे काय? इज डब्ल्यू प्राइम डब्ल्यू प्राइम म्हणजे अपरिवर्तनीय इंजिनद्वारे केलेले कार्य म्हणजे कार्नोट रेफ्रिजरेटरवर काय केले जाते हे सुनिश्चित करण्यासाठी ठीक आहे की कार्नोट रेफ्रिजरेटर टी1 जलाशयात  $q_1$  उष्णता सोडते तर अपरिवर्तनीय इंजिन गरम जलाशयाच्या प्रश्नातून  $q_1$  उष्णता काढते is what is the composite system ok in a closed loop what is the change in hot reservoir ok  $q_1$  heat is released by the carnot and  $q_1$  heat is extracted by the reversible engine So net change in hot reservoir is zero no change no heat absorbed no heat released now heat absorbed from the cold reservoir lets see okay this is absorbed  $q$  one minus  $w$  by the carbon refrigerator this is released to the cold reservoir by the irreversible engine So to the cold is or where this amount of heat is released this amount of heat is being extracted from him So what is the net net is this heat absorbed from the cold resolver it is absorbed because i have assumed  $w$  prime is greater than  $w$

So this fellow is greater than 0 well what is the net work done that is very simple  $w$  prime is the work done by the engine should be positive  $w$  is work done on the kernel refrigerator that should be negative

So this is this is the network

So what is the heat absorbed ok heat absorbed is this from the reservoir at temperature  $t_2$  and network is this remarkably they are same and you know it is not possible

So the composite system is actually like an engine which absorbs  $w$  prime minus  $w$  amount of heat and converts the entire heat to work is this possible no second law of thermodynamics says this is not possible ok second law of thermodynamics tells us this is not possible i cannot have an engine which extracts some heat from some reservoir here the reservoir at  $t_1$  plays no role because no heat absorbed from it or no heat released from it in total

So what we have network is equal to the net heat absorbed from the reservoir at temperature  $t_2$ .

So this is an engine that violates second law

So it violates second law which means  $w$  is always greater than  $w$  prime otherwise i will violate second law this implies  $w$  by  $q_1$  is greater than  $w$  prime by  $q_1$  what is this quantity this quantity is nothing but the efficiency of the carnot engine when it is operated as an engine and what is this quantity this quantity is the efficiency of the irreversible engine which i am already using as an engine remember there is a crucial point  $w$  by  $q_1$  is the efficiency of the carnot engine which in this argument i used as a refrigerator but if i operate a carnot engine as an engine then i know this is the efficiency my mathematical arguments tells me that this quantity is greater than this quantity

So efficiency of a carnot engine must be greater than the efficiency of the irreversible engine

So this is the point i will stop the lecture today what i have discussed i have told you about the possibility of perpetual machines of two kind first kind is forbidden because it violates energy conservation that means the first law of thermodynamics second one is violated because of the second law and then i showed to you that efficiency of an engine is maximum for a carnot engine and that has a universal form which is given simply in terms of the temperature of the cold reservoir  $t_2$  and hot reservoir  $t_1$

So efficiency of a carnot engine is simply given by  $1 - \frac{t_2}{t_1}$  and this is the maximum take any its efficiency will be less than that of the carnot engine furthermore efficiency of a carnot engine will never be equal to one that demands  $t_2$  should be equal to zero which means that i must reach absolute zero temperature which i cannot and hence efficiency of a carnot engine or for that matter any reversible engine will always be less than unity this is a fundamental law of nature

So this is where i will stop today's lecture you