THERMODYNAMIQUE

PGC-22

PART-B

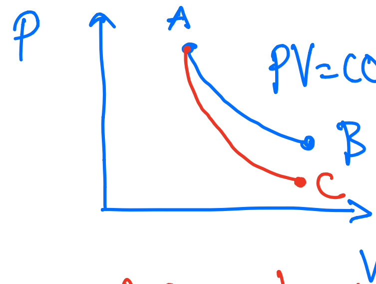
TRANSFORMATION ADIABATIQUE

$\underbrace{Q=0}$ $\Rightarrow$ $\Delta U = W$

PV^{γ} = constante

$TV^{\gamma-1}$ = constante

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



PV=const / T=const

AC : adiabatique.

gaz monoatomique

$$\gamma = \frac{5/2}{3/2} = 1.67$$

diatomique

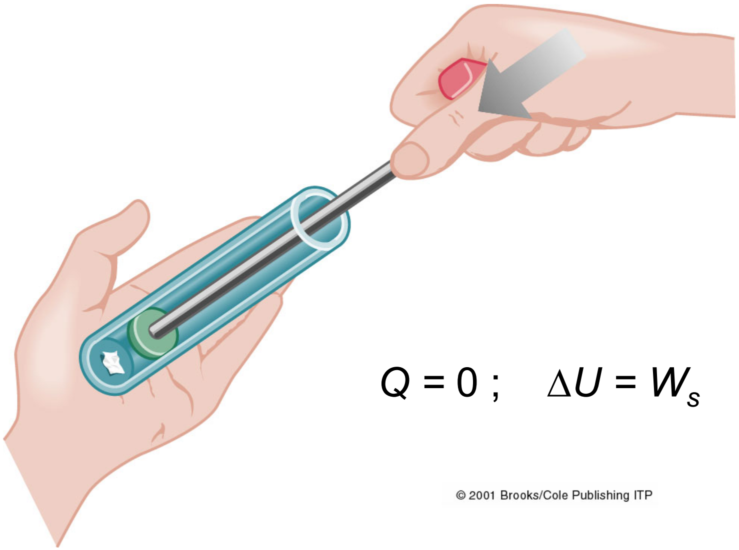
$$\gamma = \frac{7/2}{5/2} = 1.40$$

polyatomique $\gamma \simeq 1.30$

EXEMPLE

Si le gaz est comprimé, du travail s'effectue sur le gaz ($W_s > 0$) et son énergie interne augmente de même que T. Dans un moteur diesel, la compression adiabatique rapide de l'air par un facteur ~20 résulte en une élévation de température telle que lorsque l'essence y pénètre, le mélange s'enflamme spontanément.

Seringue de feu : en comprimant rapidement le gaz dans l'éprouvette avec un piston, le morceau de coton s'enflamme spontanément en raison de l'élévation de température.



$$Q = 0 \; ; \quad \Delta U = W_s$$

RÉSUMÉ DES TRANSFORMATIONS

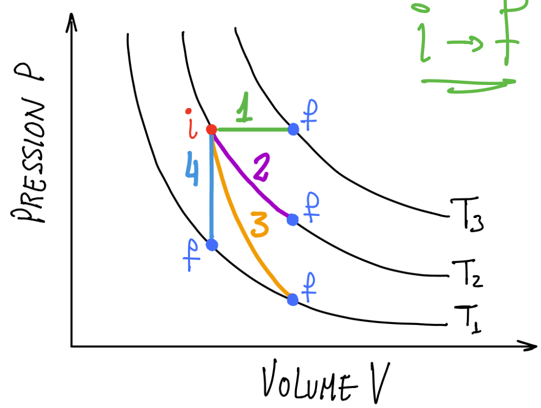
$W = -\int_{V_i}^{V_f} P\,dV$

Pour toutes $\Delta U = Q + W$; $\Delta U = n C_v \Delta T$

1. $P = \text{const}$; Isobare ; $Q = n C_p \Delta T$ et $W = -P \cdot \Delta V$
2. $T = \text{const}$; Isotherme ; $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$
3. $PV^{\gamma} = \text{const}$; Adiabatique ; $Q = 0$; $W = \Delta U$
4. $V = \text{const}$; Isochore ; $W = 0$

   $Q = \Delta U = n C_v \Delta T$

$i \rightarrow f$



CYCLES THERMIQUES

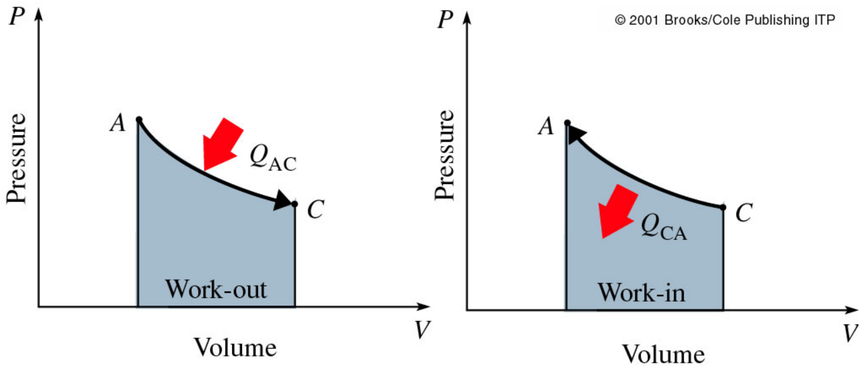
Dans ce qui suit, nous ne considérons que des transformations réversibles et nous voulons que le système revienne à son état initial après les transformations : $\Delta U = 0$.

Le diagramme dans le plan $P - V$ représente alors un cycle.

- $W_{AC} = -\int P dV < 0$
- $Q = -W_{AC} > 0$

- $W_{CA} = -W_{AC} > 0$
- $Q = -W_{CA} < 0$

$W_{ACA} = 0$



(a) (b)

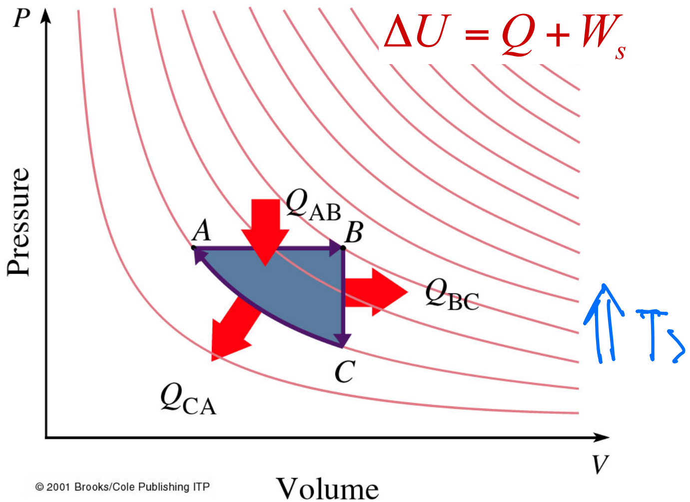
CYCLES THERMIQUES

- $A \to B$ $W_s < 0$ $T \Uparrow$, $\Delta U \Uparrow$

$$Q_{AB} = \Delta U - W_s > 0$$

- $B \to C$ $W = 0$ $\Delta U < 0$ $Q_{BC} < 0$

- $C \to A$ $\Delta U = 0$ $W > 0$ $Q < 0$



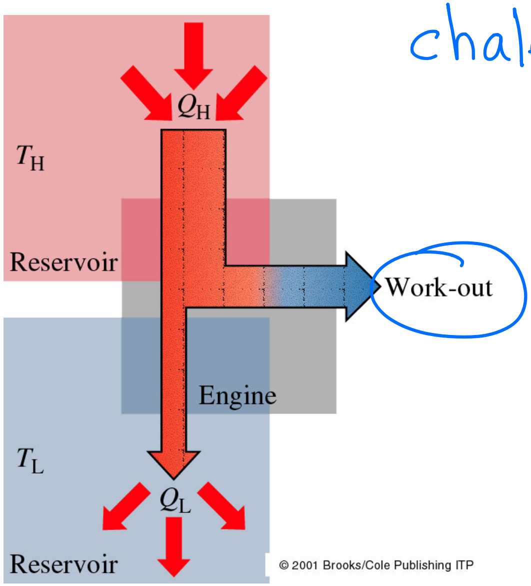
$\underbrace{\Delta U_{ABCA} = 0}$ même T

MOTEURS THERMIQUES

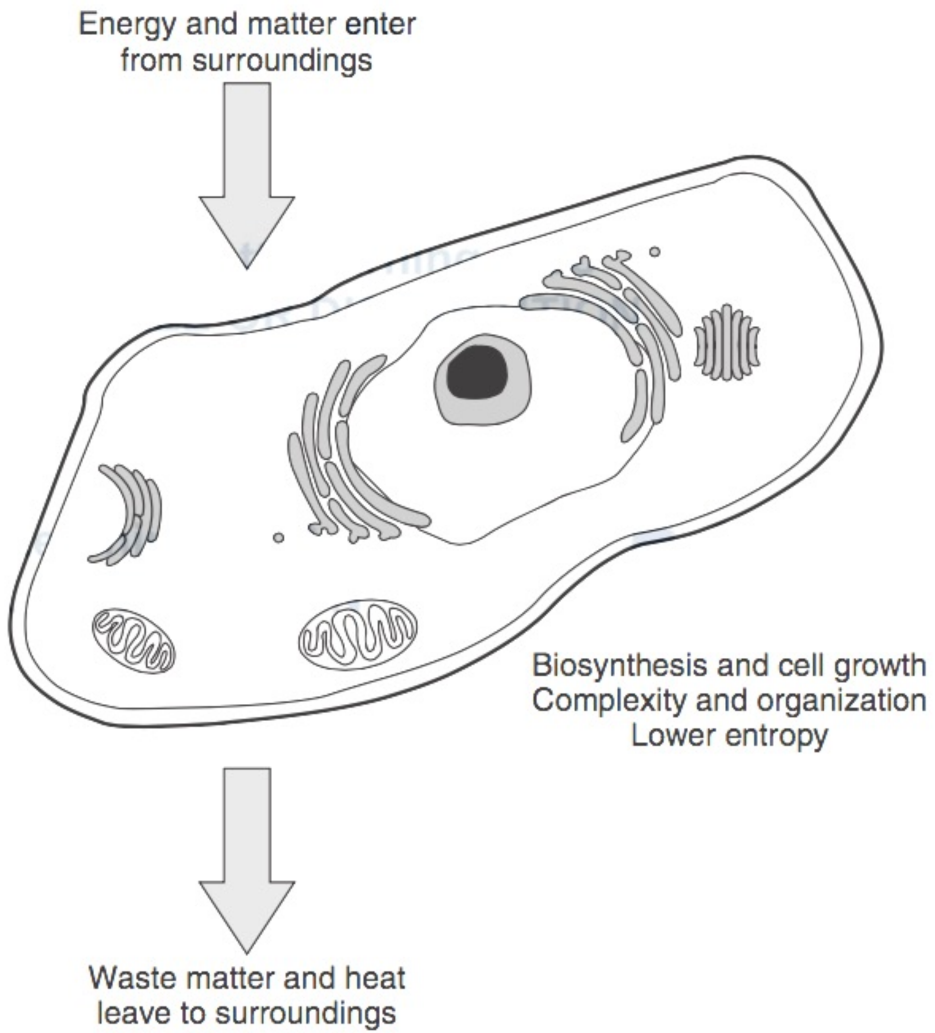
Un moteur thermique est un dispositif cyclique qui convertit l’énergie thermique en travail qu’il cède à l’extérieur.

$$U_f - U_i = \Delta U = 0 \Rightarrow Q + W = 0 \Rightarrow \underline{\underline{Q = -W}}$$

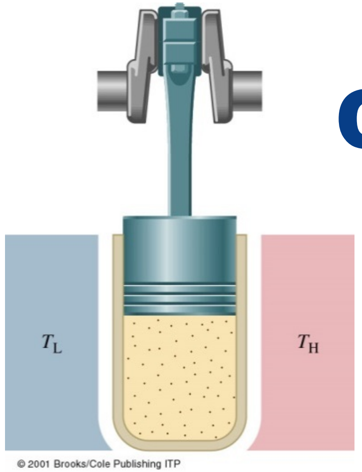
chaleur $\quad Q_H + Q_L = Q > 0$



$W = -Q$


Energy and matter enter
from surroundings
Biosynthesis and cell growth
Complexity and organization
Lower entropy
Waste matter and heat
leave to surroundings

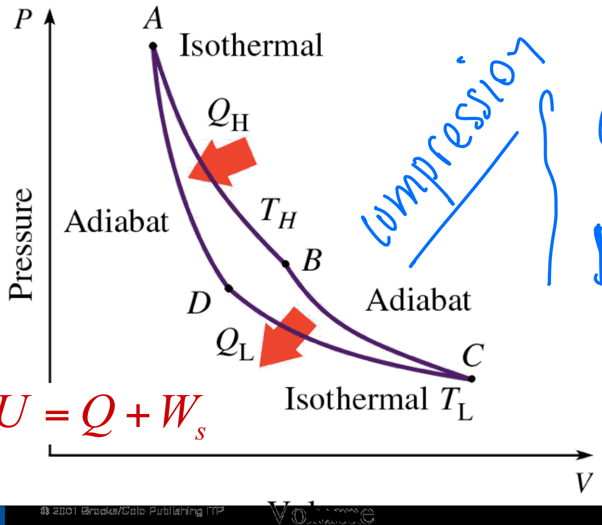
CYCLE DE CARNOT



Le cycle de Carnot est un cycle idéal qui ne correspond à aucun moteur réalisable, fonctionnant selon un cycle réversible.

détente
- $A \to B$ isotherme $\Delta U = 0$, $W < 0$, $Q_H > 0$
- $B \to C$ adiabatique P, V, T changent $Q = 0$, $W = \Delta U < 0$

compression
- $C \to D$ isotherme $\Delta U = 0$ $W > 0$, $Q_L < 0$
- $D \to A$ adiabatique $Q = 0$, $W = \Delta U > 0$



$$\Delta U = Q + W_s$$

RENDEMENT D'UNE MACHINE THERMIQUE

$$r = \frac{\text{ênergie disponible sortante}}{\text{ênergie entrante}} = \frac{\text{ênergie utile}}{\text{ênergie fournie}}$$

ênergie utile = travail effectué

énergie fournie = Q_H

$$r = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$r \sim 55\%$

25%

RENDEMENT DU CYCLE DE CARNOT

$$r = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H}$$

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{n\,RT_L \ln(V_C/V_D)}{n\,RT_H \ln(V_B/V_A)}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad \begin{pmatrix} B \to C \\ D \to A \end{pmatrix}$$

$$\left.\begin{aligned} T_H V_B^{\gamma-1} &= T_L V_C^{\gamma-1} \\ T_L V_D^{\gamma-1} &= T_H V_A^{\gamma-1} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{V_C}{V_D} = \frac{V_B}{V_A}$$

$$r = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

MAX

$\cancel{r = 1}$ impossible

$\cancel{T_L = 0}$ $\quad T_H \to \infty$

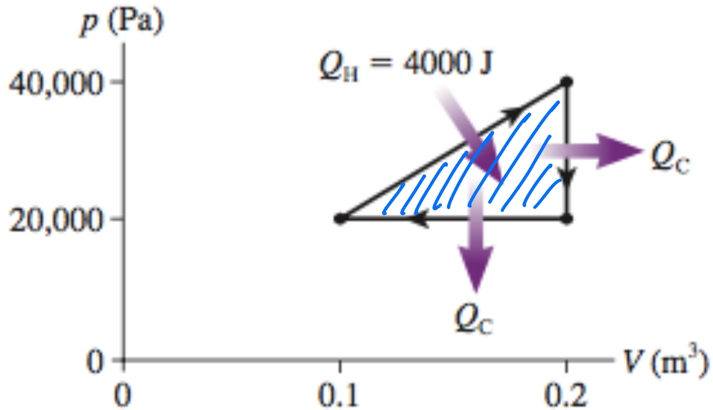
QUESTION

$r = \frac{W}{Q_H}$

$W = -\int_{V_i}^{V_f} P\,dV$

Trouver le rendement de la machine décrite par le diagramme P-V dessus.

(a) 0.10
(b) 0.50
(c) 0.25
(d) 4
(e) On peut dire puisqu'on ne connaît pas Q_C



$Q_H = 4000\,J$

$W = 0.1 \times 20000 \times \frac{1}{2}\,J = 1000\,J$

$r = 0.25$

QUESTION

Est-ce que la machine à coté est possible à construire?

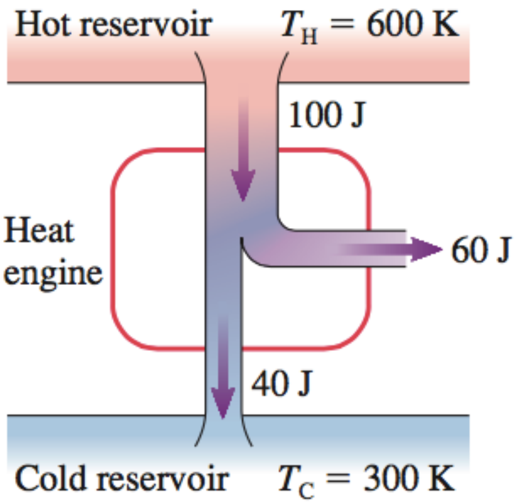
(a) Oui

(b) Non

(c) On ne peut pas dire

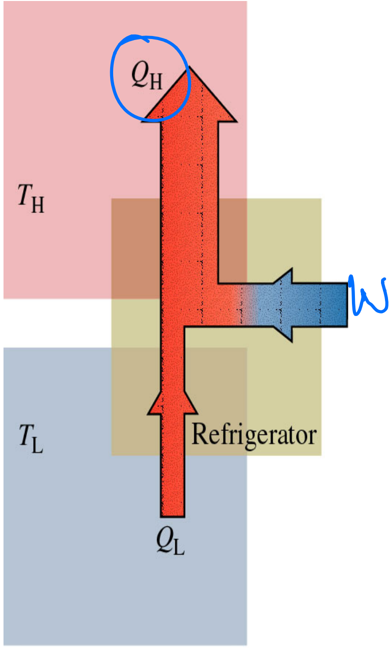
$$r = \frac{W}{Q_H} = \frac{60J}{100J} = 0.6$$

$$r_{max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{600} = 0.5$$



RÉFRIGÉRATEURS ET CLIMATISEURS

Réfrigérateur ≈ moteur thermique marchant à l'envers



$$Q_H = Q_L + W$$

$$W = Q_H - Q_L$$

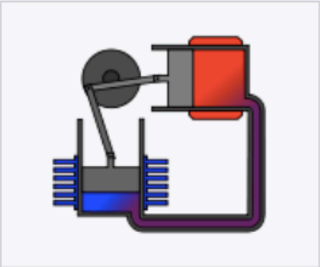
$$\eta = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

$\eta \Uparrow$ $\quad$ $\eta \sim 5$

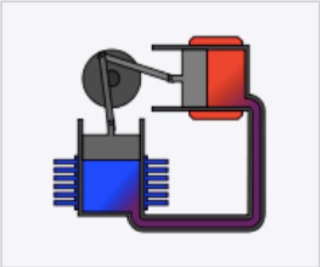
$$\eta_{carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Démo + Exo.

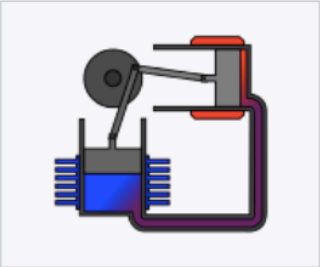
MOTEUR DE STIRLING



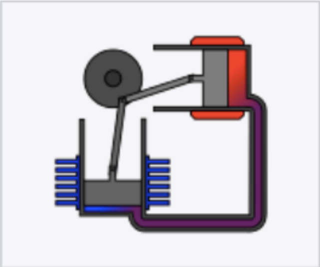
1. Le gaz de travail, chauffé au contact des parois du cylindre chaud, tend à occuper plus de place et repousse le piston chaud au fond de sa course (vers la gauche). Lorsqu'il est arrivé en butée, l'expansion du gaz se poursuit en direction du cylindre froid et repousse le piston froid (vers le haut). Ces mouvements sont transmis à la roue.



2. Le gaz est maintenant à son volume maximal. La roue transmet son mouvement au piston chaud (vers la droite), ce qui envoie la plus grande partie du gaz vers le cylindre froid, où il va se refroidir.



3. Presque tout le gaz est maintenant dans le cylindre froid et le refroidissement du gaz continue. La pression du gaz est à son minimum. Il se contracte et le piston froid redescend.

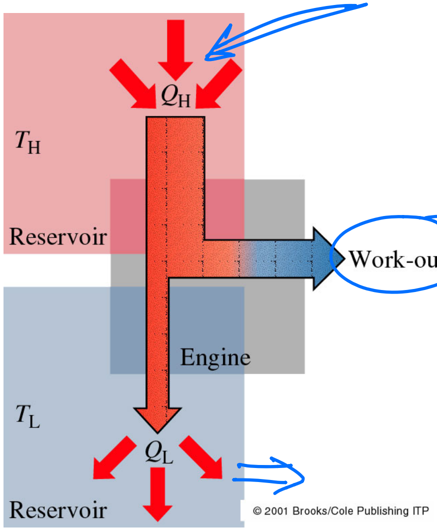


4. Le gaz est maintenant à son volume minimum et le piston chaud est tiré vers la gauche par la roue et les transmissions. Le gaz est ainsi aspiré dans le cylindre chaud. Comme il se réchauffe, son volume augmente et le cycle recommence.

Source: wikipedia

RÉSUMÉ - MACHINES

Machine thermique

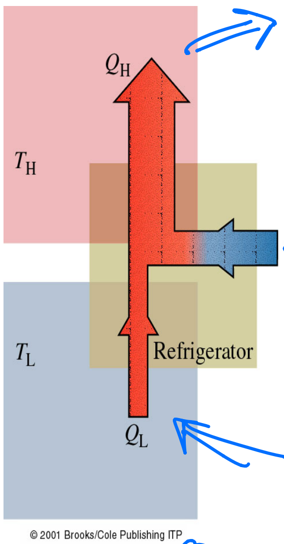


$W = Q_H - Q_L$

$r = \frac{W}{Q_H}$

$r < 1 - \frac{T_L}{T_H}$ (carnot)

Réfrigérateur



$\Leftarrow W$

$\eta = \frac{Q_L}{W}$

$\eta < \frac{T_L}{T_H - T_L}$ (carnot)

DEUXIÈME PRINCIPE

Énoncé de Kelvin-Planck

Negation de mouvement perpetuel

Il n'existe aucun processus cyclique ayant pour seul résultat de transformer entièrement en travail, une quantité de chaleur Q provenant d'une source à température unique (de telle manière que $W_s = Q$).

Formulation de Clausius:

Pas de refriperateur parfait

Il ne peut y avoir de processus cyclique dont le résultat consiste à libérer la chaleur produite par un système à une température donnée pour en transmettre une quantité égale à un second système de température plus élevée.

ENTROPIE

L'entropie donne la direction dans laquelle évolue un système. Dans un processus irréversible pour un système fermé, l'entropie du système augmente toujours : elle ne décroit jamais.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q}{T}$$

<u>L'entropie d'un système:</u>

augmente quand il reçoit de la chaleur

diminue quand il perd de la chaleur

reste inchangée par un travail effectué en absence de frottement.

CYCLE DE CARNOT ET ENTROPIE

$A \to B \qquad \Delta S_H = \dfrac{Q_H}{T_H}$

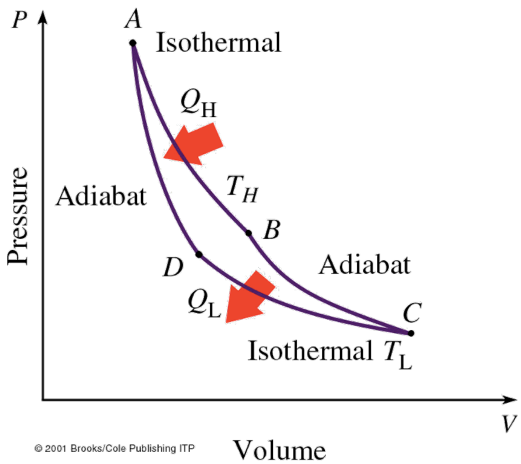
$B \to C \qquad Q = 0 \qquad \Delta S = 0$

$C \to D \qquad \Delta S_L = \dfrac{Q_L}{T_L}$

$D \to A \qquad Q = 0 \qquad \Delta S = 0$

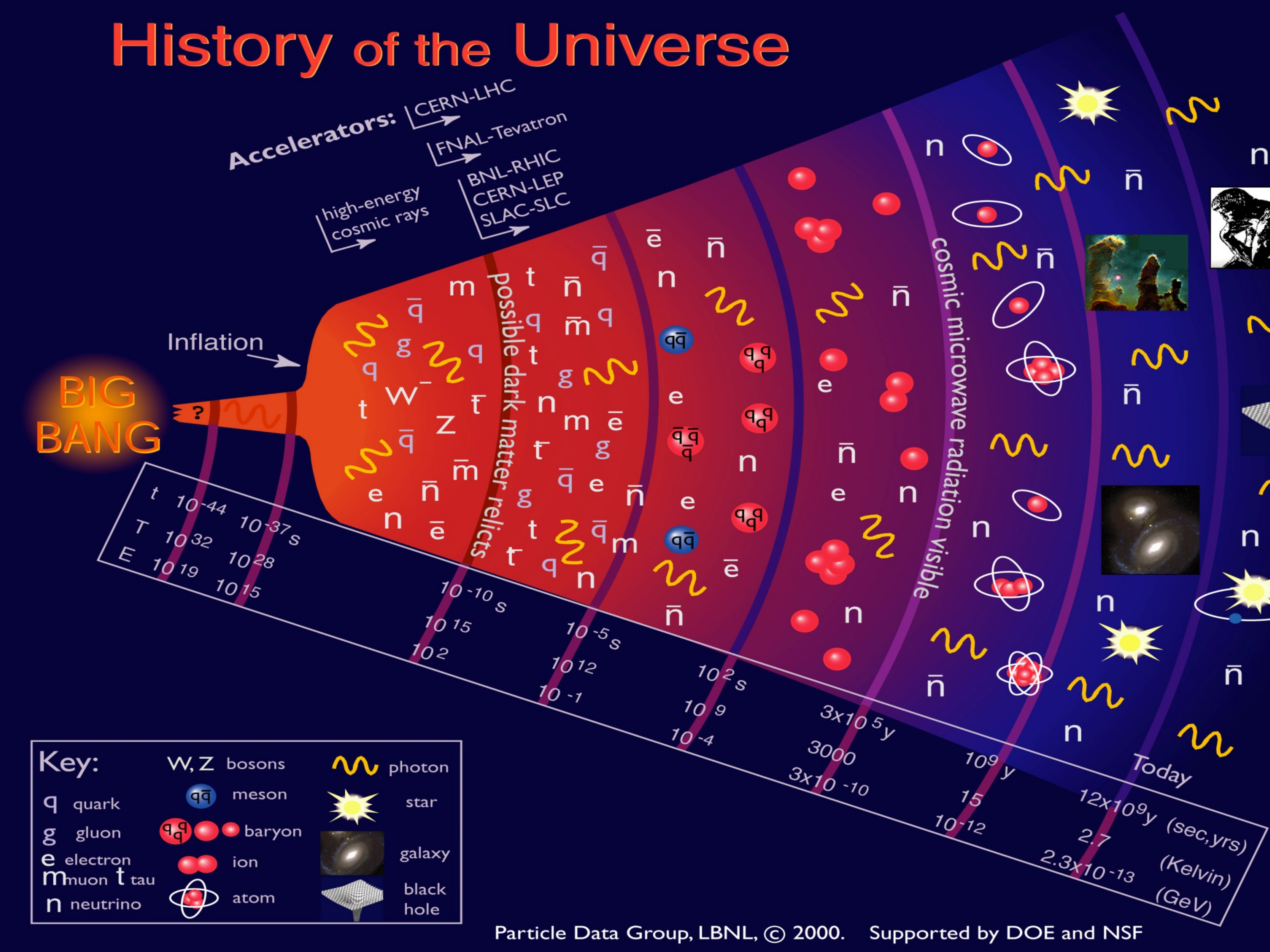
$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$$

$$\Delta S = \Delta S_H - \Delta S_L = \underline{\underline{0}}$$



ORDRE ET DESORDRE

Chaque transformation augmente l’entropie de l’Univers ou, au mieux, la laisse inchangée.


History of the Universe
Accelerators:
CERN-LHC
FNAL-Tevatron
BNL-RHIC
CERN-LEP
SLAC-SLC
high-energy cosmic rays
Inflation
BIG BANG
?
possible dark matter relicts
cosmic microwave radiation visible
t 10^-44 10^-37 s 10^-10 s 10^-5 s 10^2 s 3x10^5 y 10^9 y Today 12x10^9 y (sec,yrs)
T 10^32 10^28 10^15 10^12 10^9 3000 15 2.7 (Kelvin)
E 10^19 10^15 10^2 10^-1 10^-4 3x10^-10 10^-12 2.3x10^-13 (GeV)
Key:
q quark
g gluon
e electron
m muon t tau
n neutrino
W, Z bosons
meson
baryon
ion
atom
photon
star
galaxy
black hole
Particle Data Group, LBNL, © 2000. Supported by DOE and NSF