

Le Cours de Physique de Karlsruhe (KPK) : une autre manière de présenter la physique, niveau « lycée »



Origine

Ce cours de physique a été élaboré dans le département de didactique de l'université de Karlsruhe, initialement pour le niveau collège. C'est une nouvelle approche de l'enseignement de la physique, en le débarrassant de certains « fardeaux » historiques et en privilégiant les analogies entre domaines.

Ce cours a été ensuite décliné au niveau lycée, puis au niveau université (en allemand et anglais).

Les 5 tomes du niveau lycée ont été traduits en français entre 2021 et 2022 et sont disponibles sur le site <https://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>.

Propositions : chaque domaine de la physique macroscopique est caractérisé par 2 grandeurs

- une grandeur extensive (définie dans un volume de l'espace), assimilée à une « substance », qui se conserve : la « charge » Q ,
 - une grandeur intensive (définie en tout point) : le « potentiel » ϕ .
- La « charge » peut se déplacer du potentiel « haut » vers le potentiel « bas », à un certain « débit » $I_Q = Q/t$.

L'énergie unifie tous ces domaines et permet des analogies

L'énergie est elle aussi une grandeur extensive de type « substance », qui se conserve quoi qu'il arrive (inutile d'avoir une condition de système « isolé »).

L'énergie est localisée et peut se déplacer. Elle est portée par une grandeur « porteur d'énergie Q », qui peut changer (permet d'aborder les transformations d'énergie).

Le débit d'énergie (càd la puissance) est donné simplement par l'expression : $I_E = I_Q \cdot \phi$.

L'énergie est le point commun entre des domaines différents et justifie certaines analogies (formalisme commun et passage d'un porteur à un autre).

Champ scientifique	Grandeur extensive	Grandeur intensive	Courant	Flux d'énergie
Électricité	Charge électrique (Q)	Potentiel électrique	Courant électrique	$P = U \cdot I$
Mécanique	Quantité de mouvement (p)	Vitesse	Courant mécanique (= force)	$P = v \cdot F$
Thermodynamique	Entropie (S)	Température absolue	Courant d'entropie	$P = T \cdot I_S$
Chimie	Quantité de matière (n)	Potentiel chimique	Courant de matière	$P = \mu \cdot I_n$

(on retrouve la relation de Gibbs-Duhem : $dE = -p \cdot dV + T \cdot dS + \mu \cdot dn + \dots$)

Tableau : Une analogie entre électricité, mécanique, thermodynamique et chimie est possible, dans laquelle se correspondent des grandeurs et des relations entre grandeurs.

Exemples en mécanique

- « Charge » = quantité de mouvement + contraintes mécaniques (il s'avère qu'une force n'est rien d'autre qu'un courant de qdm)
- Les 3 lois de Newton résumées en une affirmation : « la qdm se conserve », quoi qu'il arrive ! (Les frottements sont considérés comme des « fuites ».)
- La Terre est une source ou un puits (comme pour la charge électrique)
- Le champ gravitationnel est une source-puits
- Convention de signe liée aux choix de l'orientation des axes Ox-y-z
- Permet une vision d'ensemble, càd inclus le « support »

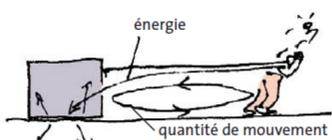
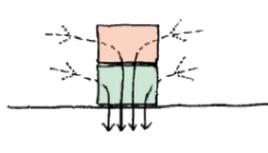
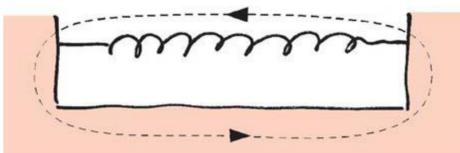


Fig. 5.1 Avec la quantité de mouvement des muscles de Willy en tant que porteur d'énergie, l'énergie va au fond de la boîte. À partir de là, elle se déplacera dans diverses directions avec l'entropie en tant que porteur d'énergie.

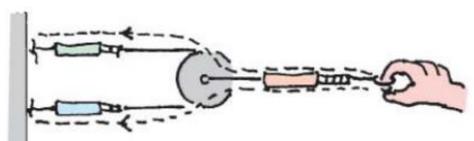


Fig. 2.67 Chemin de la quantité de mouvement selon x

Exemples en thermodynamique

- « Charge » = entropie S (à voir comme une « charge thermique », un « contenu en chaleur », ...)
- Loi de conservation imparfaite ! S augmente toujours (sauf processus réversibles)
- Sources d'entropie : - frottements mécaniques - frottements électriques (effet Joule) - réaction chimique - conduction de la chaleur

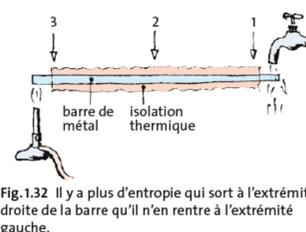


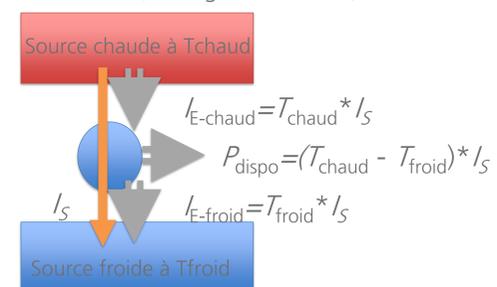
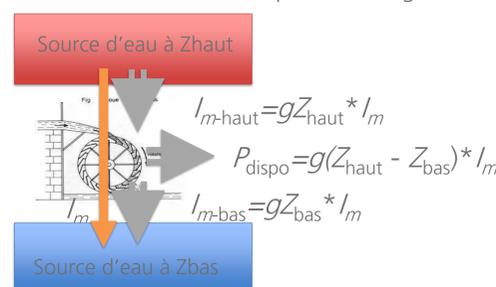
Fig. 1.32 Il y a plus d'entropie qui sort à l'extrémité droite de la barre qu'il n'en rentre à l'extrémité gauche.

$$I_{S1} = I_{S3} + I_{S \text{ produite}}$$

$I_{S \text{ produite}}$ représente la partie du courant d'entropie qui est produite dans la barre.

Si de l'entropie traverse une résistance thermique, une entropie supplémentaire est produite.

Moteur thermique et analogie avec la roue à aubes (analogie de Carnot) :



Autres apports de l'approche KPK

- Première approche de la mécanique en rotation au niveau collège : accent mis sur la conservation du moment cinétique
- Vision des champs électromagnétiques et de gravitation comme une « entité physique » et pas seulement comme une représentation mathématique
- Proposition de la « substance électronium » : pour une vision non ponctuelle des électrons, mais néanmoins quantifiée
- Utilisation du potentiel chimique, aussi pour les changements de phase
- Accent sur la similarité entre les réactions chimiques et les réactions nucléaires et sur leurs facteurs d'accélération (température et autocatalyse)
- Noms d'unités dédiés pour concrétiser ces « charges » : Huygens (Hy) pour la qdm, Carnot (Ct) pour l'entropie, Euler (Eu) pour le moment cinétique
- ...

Références

- H.L. Callendar : The calorific theory of heat and Carnot's principle, Proc. Phys. Soc. London 23 (1911), page 153
- Sadi Carnot : Réflexions sur la puissance motrice du feu, Librairie scientifique et technique, A. Blanchard, Paris (1953)
- Friedrich Herrmann, Georg Job : The historical burden on scientific knowledge, Eur. J. Phys. 17 (1996), S.
- Friedrich Herrmann : Le KPK – un cours de physique basé sur des analogies, Bulletin de l'Union des Physiciens N° 870, Janvier 2005, p. 43 - 58
- Douglas Hofstadter et Emmanuel Sander : « L'Analogie. Cœur de la pensée. », Editions Odile Jacob, 2013
- Max Planck : Bemerkungen zum Prinzip der Aktion und Reaktion in der allgemeinen Dynamik, Physikalische Zeitschrift, 9. Jahrgang, Nr. 23 (1908), page 828