Discover
the energy
of hydrogen

Grzegorz Karwasz

Universidade Nicolau Copérnico

Material didático: Ensino secundário

Parte V: "Energia"

Energia: procedência do conceito

O conceito "energia" procede da palavra grega "energeia", *ένέργεια* que foi utilizada pelo Aristóteles (no seu livro *Metafísica*) e tinha o significado de *ato*, *ser*, *converter-se* coisa diferente que *potenzia* que era somente a *possibilidade* de ser.

A aceção moderna da *energia* foi criada na metade do século XIX junto com as obras de Carnot, Joule e outros que amostraram que o *trabalho mecânico* pode ser convertido no calor: então o calor também é forma de *energia*.

Se olhamos hoje o "valor nutritivo" de cada comida/ produto (página seguinte), encontramos os valores expressados nos "joules", quer dizer, unidade do *trabalho*, e também *energia mecânica* e "calorias" (ou também kcal), quer dizer a antiga unidade de calor.

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Joule: A energia é disponibilidade do sistema para realizar o trabalho

b)

Wartość odżywcza w 100 ml: wartość energetyczna 48 kcal (204 kJ)	
białko	0,1 g
węglowodany przyswajalne	11,8 g
tłuszcz całkowity	mniej niż 0,1 g
magnez	45 mg 15%*
Witaminy:	
witamina C	9,0 mg 15%*
witamina E	1,5 mg 15%*
witamina B1 /tiamina/	0,21 mg 15%*
witamina B2 /ryboflawina/	0,24 mg 15%*
witamina PP /niacyna/	2,7 mg 15%*
witamina B6	0,3 mg 15%*
folacyna	30 µg 15%*
witamina B12	0,15 µg 15%*
beta karoten	0,72 mg
/witamina A/	/120 µg/ 15%*
biotyna	0,0225 mg 15%*
kwas pantotenowy	0,9 mg 15%*
witamina D3	0,75µg 15%*
*% zalecanego dziennego spożycia	

Westminster Abbey, tumba de Joule

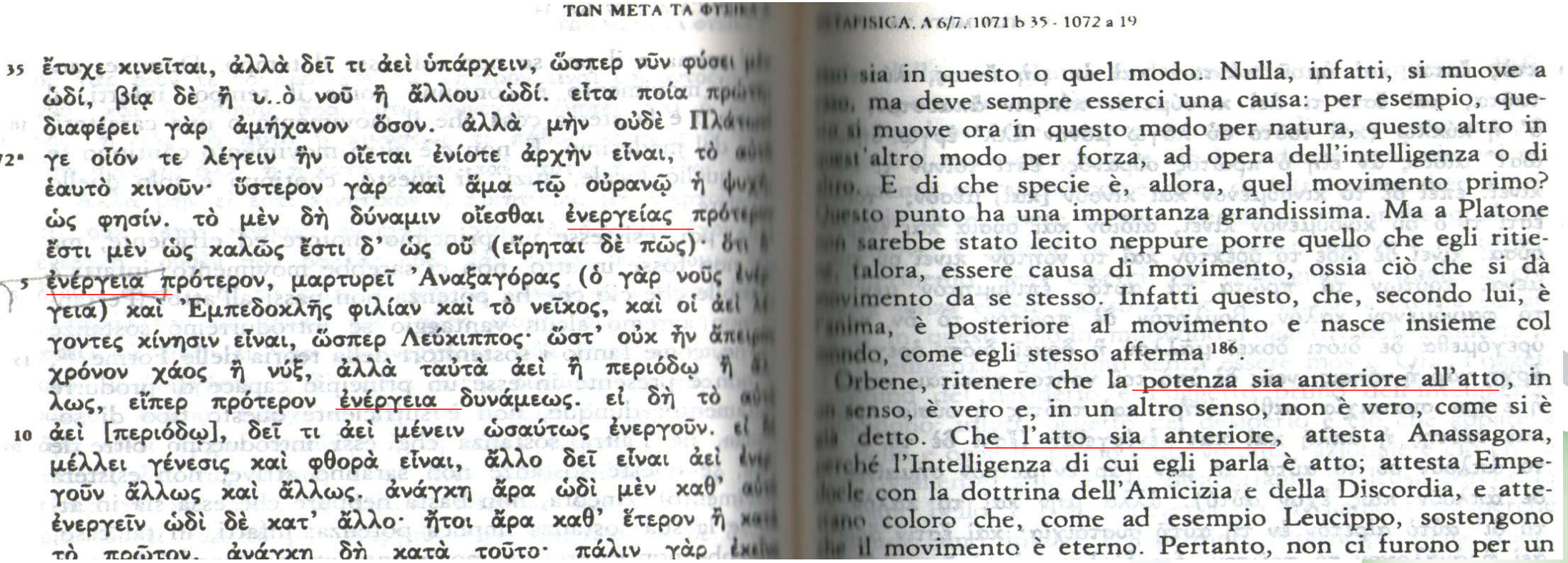
Valor energético do produto

Bolas, eslingue magnético

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

ένέργεια (Aristóteles)

Metafísica: ato = estado, ação, arranque, realização, implementação



ΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ Λ 6/7. 1071 b 35 - 1072 a 19

35 ἔτυχε κινεῖται, ἀλλὰ δεῖ τι ἀεὶ ὑπάρχειν, ὥσπερ νῦν φύσει μὲ
ὠδί, βίᾳ δὲ ἢ υ..ὸ νοῦ ἢ ἄλλου ὠδί. εἶτα ποία πρώ
διαφέρει γὰρ ἀμήχανον ὅσον. ἀλλὰ μὴν οὐδὲ Πλάτ
72a γε οἷόν τε λέγειν ἣν οἴεται ἐνίοτε ἀρχὴν εἶναι, τὸ αὑ
ἑαυτὸ κινοῦν· ὕστερον γὰρ καὶ ἅμα τῷ οὐρανῷ ἡ ψυχ
ὡς φησίν. τὸ μὲν δὴ δύναμιν οἴεσθαι ἐνεργείας πρότερ
ἔστι μὲν ὡς καλῶς ἔστι δ' ὡς οὔ (εἴρηται δὲ πῶς)· ὅτι
5 ἐνέργεια πρότερον, μαρτυρεῖ Ἀναξαγόρας (ὁ γὰρ νοῦς ἐνέ
γεια) καὶ Ἐμπεδοκλῆς φιλίαν καὶ τὸ νεῖκος, καὶ οἱ ἀεὶ λέ
γοντες κίνησιν εἶναι, ὥσπερ Λεύκιππος· ὥστ' οὐκ ἦν ἅπειρ
χρόνον χάος ἢ νύξ, ἀλλὰ ταὐτὰ ἀεὶ ἢ περιόδῳ ἢ ἄ
λως, εἴπερ πρότερον ἐνέργεια δυνάμεως. εἰ δὴ τὸ αὐ
10 ἀεὶ [περιόδῳ], δεῖ τι ἀεὶ μένειν ὡσαύτως ἐνεργοῦν. εἰ δ
μέλλει γένεσις καὶ φθορὰ εἶναι, ἄλλο δεῖ εἶναι ἀεὶ ἐνε
γοῦν ἄλλως καὶ ἄλλως. ἀνάγκη ἄρα ὠδὶ μὲν καθ' αὑ
ἐνεργεῖν ὠδὶ δὲ κατ' ἄλλο· ἤτοι ἄρα καθ' ἕτερον ἢ καὶ
τὸ πρῶτον. ἀνάγκη δὴ κατὰ τοῦτο· πάλιν γὰρ ἐκεῖ

sia in questo o quel modo. Nulla, infatti, si muove a
ma deve sempre esserci una causa: per esempio, que-
si muove ora in questo modo per natura, questo altro in
l'altro modo per forza, ad opera dell'intelligenza o di
E di che specie è, allora, quel movimento primo?
Questo punto ha una importanza grandissima. Ma a Platone
sarebbe stato lecito neppure porre quello che egli ritie-
talora, essere causa di movimento, ossia ciò che si dà
movimento da se stesso. Infatti questo, che, secondo lui, è
l'anima, è posteriore al movimento e nasce insieme col
mondo, come egli stesso afferma [186].

Orbene, ritenere che la potenza sia anteriore all'atto, in
un senso, è vero e, in un altro senso, non è vero, come si è
già detto. Che l'atto sia anteriore, attesta Anassagora,
perché l'Intelligenza di cui egli parla è atto; attesta Empe-
docle con la dottrina dell'Amicizia e della Discordia, e atte-
stano coloro che, come ad esempio Leucippo, sostengono
che il movimento è eterno. Pertanto, non ci furono per un

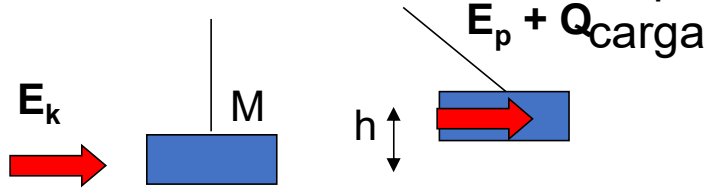
This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Energia: definição

O debate relativo à definição da energia é tipo da "história sem fim".
Atualmente dizemos que

a energia é capacidade do corpo para realizar o trabalho.

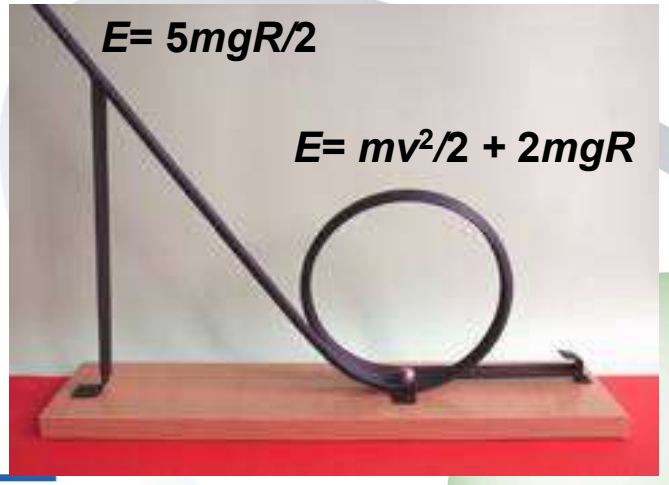
Por exemplo, a energia cinética da bala que choca no pêndulo balístico, como na figura ao lado, ocasiona a elevação da carga (e uma parte da energia cinética converte-se no calor).



$E_k = mv^2/2$

$E_p = (m+M)gh$

No segundo experimento (laço de morte com o raio *R)* a energia potencial da bola no início do trilho converte-se no ponto mais alto na energia cinética a uma parte fica ainda a energia potencial.



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Energia: tipos

Temos dois tipos da energia mecânica:
- relacionada com o movimento, conhecida como **cinética**, $E_k = ½\ mv^2$, onde m é peso do corpo a mover e v – é a sua velocidade
- relativa com a altura do corpo, chamada energia **potencial**, $E_p = mgh$, onde h é ainda a altura sobre a superfície da terra e g é a aceleração de gravidade

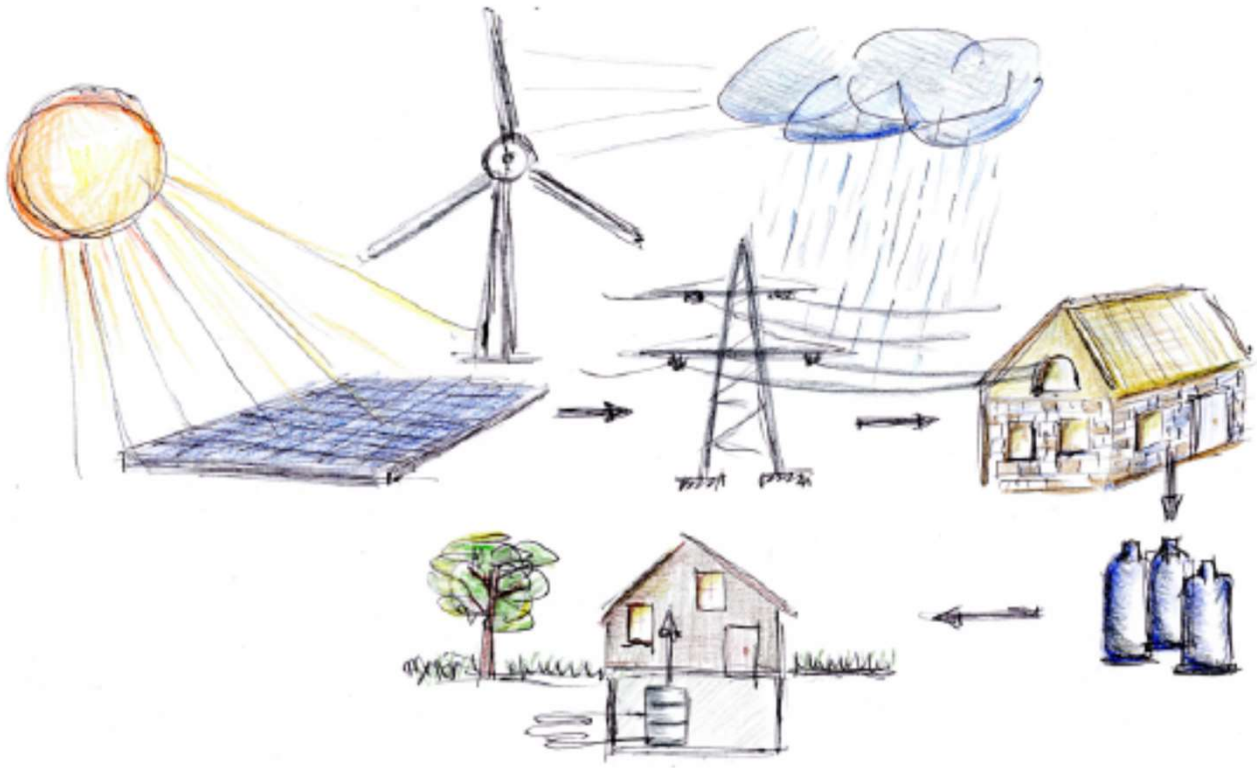
Também chama-se a *energia potencial* a energia armazenada na **mola**. Se a mola é harmónica, *quer dizer* a força necessária para a sua manutenção na distância x desde a posição de equilíbrio é $F=kx$ (k – constante da elasticidade), a energia potencial da *elasticidade* é de $E_p = ½\ kx^2$.

A energia geral relativa à posição chama-se energia *potencial*. Para os campos **electroestáticos** *a energia potencial* de dois pontos de cargas pontuais q e Q (no vácuo) localizados na distância r é $E_p = (1/4\pi\varepsilon_0)\ qQ/r$, onde ε_0 é a permeabilidade do vácuo.

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Energia: fontes e conversões

Como dizemos antes, a energia *tem aspetos* diferentes.
Na prática, devemos saber determinar a *fonte* de energia:
- radiação solar
- corrente elétrica
- calor geotérmico
- energia cinética de vento
- energia química de hidrogénio
- etc.



Hans. U. Fuchs,
Hidrogénio e as pilhas de combustível. Como, para que e por que?
Materiais didáticos FCHGo, 2019

This project has received funding from the Fuel Cells and Hyd
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Energia: limitações

Como já vimos nas páginas anteriores, a energia potencial (do corpo no campo de gravidade mas também as molas) requer a definição do ponto da altura "zero": o corpo que cai da altura ao *nível zero* acumula a energia cinética.

A energia cinética requer também o ponto de referência? Desde os tempo de Einstein sabemos que sim! A velocidade não é valor *absoluto*: depende do sistema de referência: o corpo pode ter a energia cinética em um sistema de referência e no outro, que move com a mesma velocidade que o mesmo corpo - pode ter a energia cinética zero.

Assim, se chegamos à mesma definição de energia - em função do sistema de referência (quer dizer, ponto definido como "energia zero") a capacidade para efetuar o trabalho pode ser diferente: mesmo quando o sistema tem a energia, o trabalho útil pode ser zero.

Falamos desse ponto para introduzir os conceitos termodinâmicos.

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Energia & calor

O conceito de energia apareceu quando Joule apresentou a igualdade do calor e do trabalho. Essa advertência criou a base do primeiro* princípio de termodinâmica:

O trabalho *W* realizado **sobre** o sistema e o calor *Q* descarregado **pelo** sistema ocasiona o crescimento da **energia interna** *U* do sistema:

$$\Delta U = W + Q$$

Demais, fica claro que o calor pode passar somente de um corpo com temperatura superior, digamos T_1, para o corpo com temperatura inferior, por exemplo T_2.

Isto imediatamente põe limites no *rendimento* das máquinas termodinâmicas.

*O princípio zero determina que o calor flui desde o corpo mais quente para o corpo mais frio.

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Calor & temperatura

Que é o que é a temperatura? Se esclarecemos às crianças diríamos:
"O que sentimos com a mão é calor ou frio"*
Obviamente, não podemos definir assim a unidade física. Dizemos que a temperatura é a medida da energia interna do corpo.

$U \sim T$, onde o símbolo da proporcionalidade ~ requer certa aclaração:
a constante da proporcionalidade depende da estrutura interna (que dizer atómica) do corpo.

O mais fácil pode-se esclarecer isto para os gases chamados perfeitos, quer dizer, os gases que podem ser aproximados como bola pequenas, duras que chocam de forma elástica. Os gases raros é um bom exemplo.
A energia interna quer dizer que o corpo acumula a energia: deve ser a energia mecânica dos átomos (ou partículas).
*A nossa mão (recetores de calor) intercetam o movimento térmico dos átomos e oferecem a impressão da temperatura. Para conseguir a definição mais detalhada, veja também Fuchs, 2019, *op. cit.*

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Heat & Temperature: Equi-partition of energy

How atoms (in the approximation of hard spheres) may accumulate energy?
As a kinetic energy.

Atoms can move (as translations) in 3 dimensions, so the internal energy of noble gases (per atoms) is, within good approximation $U = 3/2\ kT$
where k is Boltzman's constant $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K (we must use kelvins)

As in the absence of work the change of the internal energy corresponds to the heat transferred, the *specific heat* per atom (i.e. the heat absorbed when the temperature changes by 1K) is $c_V = 3/2\ kT$. (c_V is the specific heat in conditions of the constant volume.)

To translate it to macroscopic units, i.e to the heat by one *mole* of gas we must multiply the above values by Avogadro number N_A .
Besides, so-called gas constant, R is already multiplied, $R = kN_A$ (R=8.31 J/(mole•K)

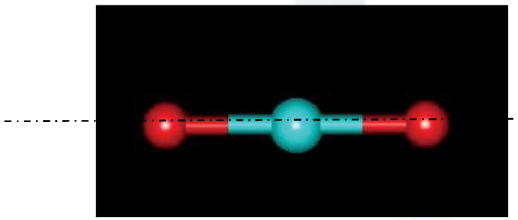
This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Equi-partition of energy: molecules

The principle of equipartition of energy holds also for molecules, what allows to estimate the specific heat also for them.

A diatomic molecule, apart from 3 directions of the translational energy, can rotate, theoretically along three axes. In practice, the energy is accumulated in rotations along only two axis, perpendicular to the axis joining the two atoms.

The equipartition principle holds also for these rotations, so the specific heat of diatomic gases, under a constant volume conditions, is approximately $c_V=5/2\ kT$ (per molecule), or $c_V=5/2\ RT$ per mole.



Rotations along this axis do not contribute to the specific heat.

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Motores térmicos

O princípio da equivalência do trabalho mecânico e térmico permite atuar aos motores térmicos: porque a energia mecânica pode ser convertida na térmica (como no experimento de Joule), também o calor pode ser convertido no trabalho mecânico (o calor é equivalente à energia mecânica).

Mas porque a energia mecânica não pode ser completamente convertida na térmica (por exemplo, a consequência da fricção), não todo o calor Q_1 descarregada pelo sistema pode ser convertida no trabalho mecânico. Uma parte do calor, Q_2, deve ser devolvida para o ambiente.

No motor térmico ideal a *eficiência* η mas a relação do calor *utilizado*, quer dizer Q_1-Q_2 e do calor descarregado

$$\eta = (Q_1 - Q_2) / Q_1$$

Porque nos motores térmicos o calor é proporcional à temperatura do gás, a eficiência (do motor ideal) é $\eta = (T_1 - T_2) / T_1$. onde T_1 é temperatura da fonte do calor e T_2 – do radiador.

Portanto, cresce a eficiência quando a fonte de calor é mais quente e o radiador - mais frio.

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Motores térmicos

Como pode ser a "mais alta" eficiência do motor de conformidade com as leis da termodinâmica?

$$\eta = (T_1 - T_2) / T_1.$$

”

O motor 605 MW de General Electric 9HA obteve a eficiência de 62% a temperatura dos **1,540 °C.** A eficiência do motor de carro típico são solo 30%

Os resto é se transformado em calor, sem mencionar a emissão do CO_2.

https://www.ge.com/power/gas/gas-turbines/9ha

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

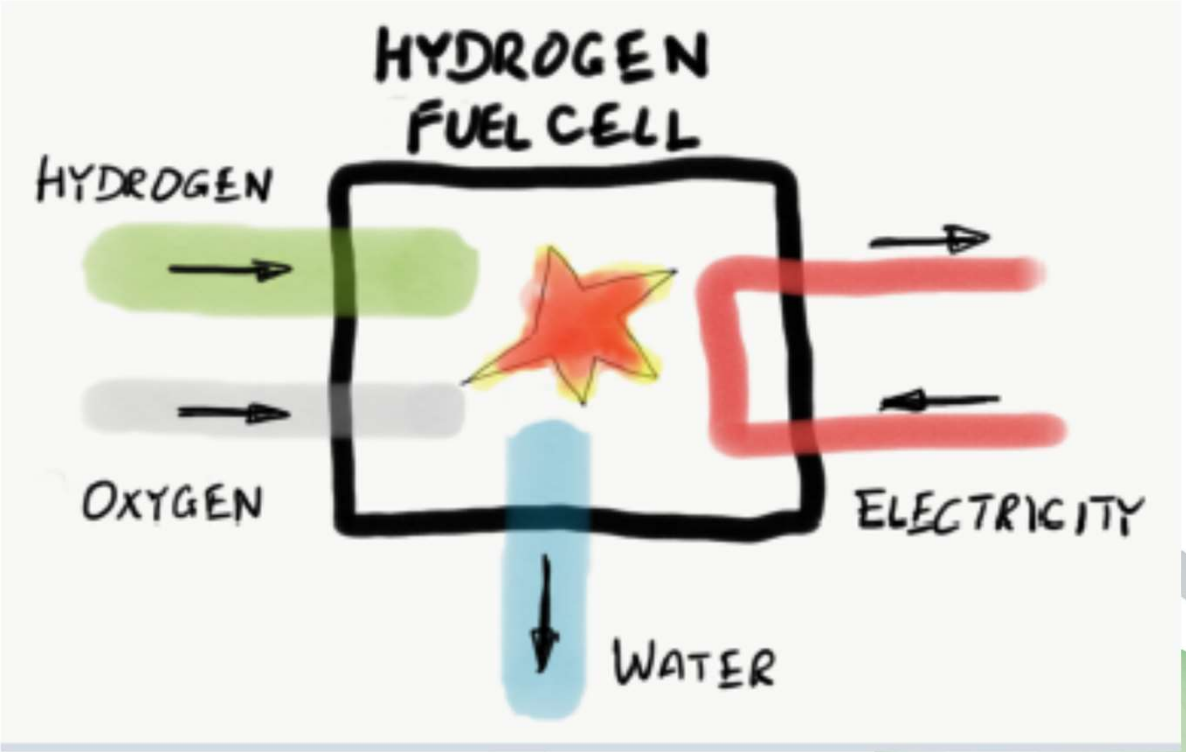
Pilha de combustível (hidrogénio)

A ideia da pilha de combustível consta em que é um *motor*: se fornecemos o hidrogénio H_2 e o oxigénio O_2 geramos a corrente elétrica e os dois gases que formam a água H_2O.

Desde o ponto de visto energético, a energia química dos dois gases converte-se na energia elétrica.

A eficiência da pilha de combustível é bastante superior (até 80%) que do motor combustível.

Mas a termodinâmica diz que também o calor deve ser gerado (veja a lição nº 4).



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Pilha de combustível "ideal"

O esboço detalhado das transformações de energia encontram-se abaixo

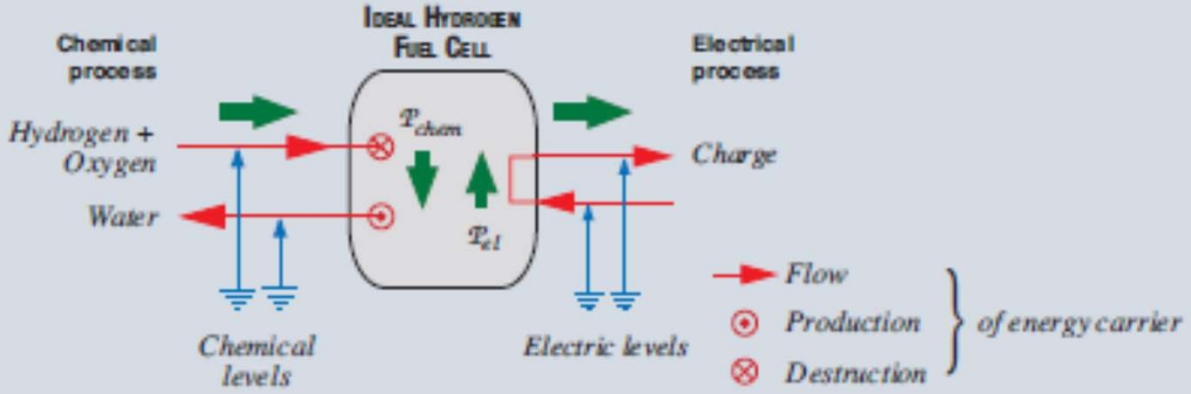
O nível químico de água H_2O é inferior que a separação do fornecidos H_2 e O_2.

A queda do nível da energia química bombeia a carga elétrica até o potencial superior (de 1 V) e faz o fluxo da corrente elétrica.

Hans Fuchs, *op. cit.*

T Using hydrogen in a fuel cell

The reaction of hydrogen with oxygen that produces water makes energy available. In a fuel cell, the energy made available is used for pumping electric charge from a lower to a higher electric level, setting up an electric tension.



When hydrogen gas reacts with oxygen gas, the two gases disappear. In their place, water appears. As a result of the reaction, charge is pumped.

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Pilha de combustível real

Na pilha de hidrogénio real existem também perdas de calor

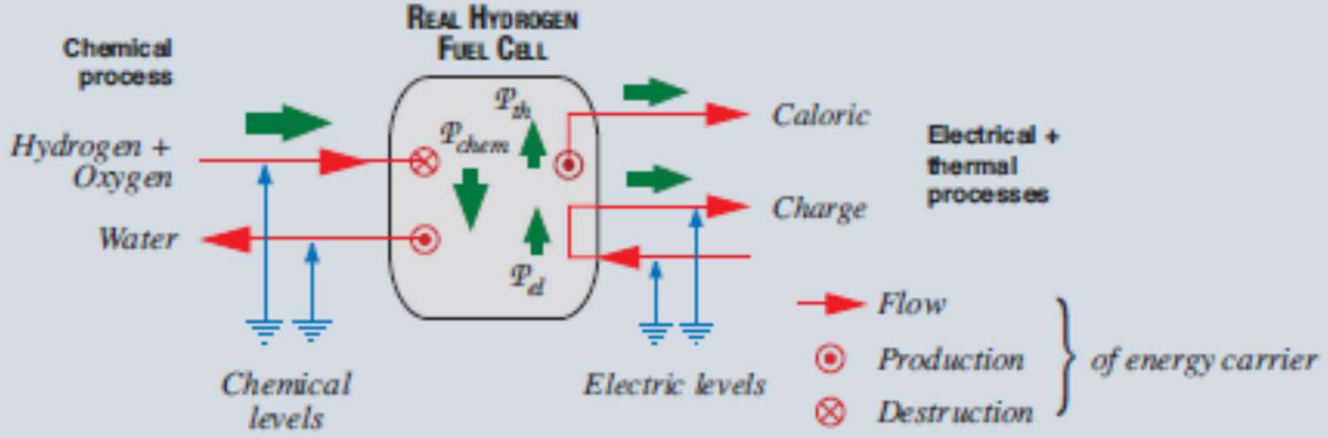
As perdas tem várias razões:
- potencial de ativação (carga da membrana da troca dos protões)
- resistência interna da pilha (perdas de ohms)
- perdas adicionais por causa das imperfeições técnicas.

Em geral, um 80% da eficiência teórica continua a ser o objetivo distante.'\

Hans Fuchs, *op. cit.*, p. 27

T Real hydrogen fuel cells

A real (hydrogen) fuel cell is fed with hydrogen and oxygen. Their reaction drives an electric and a thermal process in parallel.

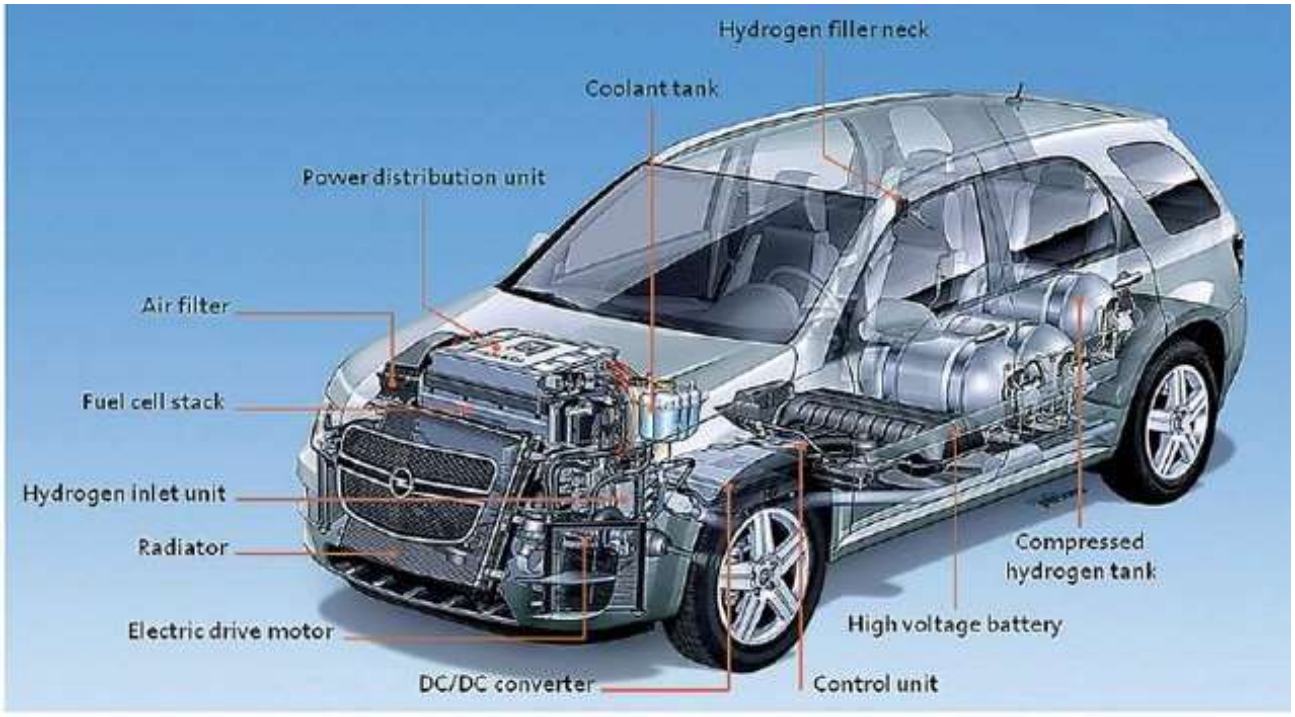


This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Carro verdadeiro de "hidrogénio"

FCHgo! Discover the energy of hydrogen

Na prática, a eficiência ao nível do 50% seria perfeita



https://www.researchgate.net/publication/233987484_Fuel_cell_electric_vehicles_and_hydrogen_infrastructure_Status_2012/figures?lo=1

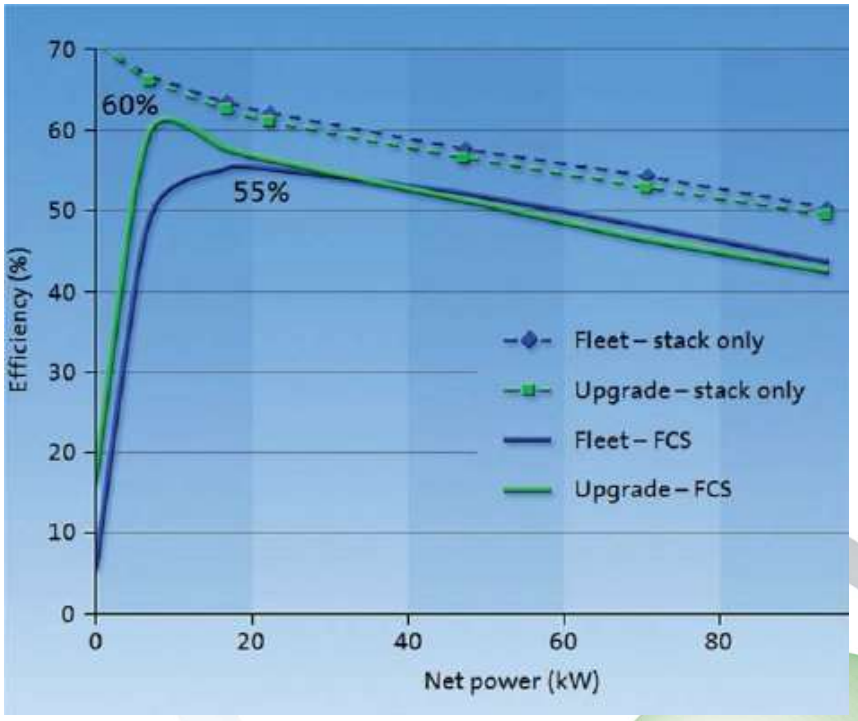


Fig. 8 Fuel cell stack efficiency (dotted lines) and fuel cell system efficiency (straight line) over net power; HydroGen4 standard fleet version: blue curves; "TechDemo" system: green curves

U. Eberle *et al.*, *Fuel cell electric vehicles and hydrogen infrastructure: Status 2012* Energy & Environmental Science 5(10: 8790 (2012)

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Conclusões (de todas as cinco lições)

- Os professores foram preparados para adicionar as lições ou os seus fragmentos ao programa de ensino

- Os conceitos relativos ao meio ambiente, energia e clima são importantes e úteis

- É possível realizar somente uns experimentos selecionados com a eletricidade, eletroquímica, hidrogénio e energia

- Os materiais auxiliares adicionais são bem-vindos

- A narrativa e os experimentos podem ser facilmente adaptados aos diferentes níveis das escolas

NCU Group: A. Karbowski, K. Wyborska, K. Fedus, K. Rochowicz, A. Kamińska, G. Karwasz

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.