

Projecto Faraday

Textos de Apoio

Energia

10º Ano de Escolaridade



casa das ciências

Porto, Outubro de 2009

Ficha Técnica

Projecto Faraday

Projecto de intervenção no ensino da Física no secundário.

Financiamento

Fundação Calouste Gulbenkian.

Execução

Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Escolas Participantes

- ES Filipa de Vilhena
- ES Fontes Pereira de Melo
- ES Garcia de Orta
- ES da Maia
- ES de Santa Maria da Feira

Coordenação

- J. M. B. Lopes dos Santos
- Manuel Joaquim Marques

Portal

URL: <http://www.fc.up.pt/faraday>

Texto do 10^o Ano

Redactor Principal

J. M. B. Lopes dos Santos

Colaboração e revisão

- Elisa Arieiro
- Carlos M. Carvalho
- Manuel Joaquim Marques

Actividades

Autores

- Carlos M. Carvalho
- Elisa Arieiro
- J. M. B. Lopes dos Santos
- Manuel Joaquim Marques
- Nuno Alexandre Vaz
- Nuno Nunes

Colaboração

- Joaquim Agostinho Moreira

Prefácio

Caro aluno(a):

Ao preparar estes materiais, fomos guiados por um objectivo modesto: mudar a tua visão do mundo.

Não a maneira como te relacionas com outras pessoas, ou as tuas convicções religiosas, sociais ou políticas, ou sequer a tua postura pessoal.

Não é disso que trata a Física. Trata, sim, do funcionamento do mundo que te rodeia, daquilo que vês, ouves e sentes, dos objectos e instrumentos que utilizas, e, sobretudo, de muito que está por trás, e explica, o mundo que experimentamos. É que este mundo físico é muito diferente do que parece à primeira vista.

O que queremos com este projecto é que experimentes um pouco dos métodos e atitudes que nos permitiram compreender e perceber uma variedade imensa de fenómenos, em termos de um conjunto muito reduzido de princípios e leis.

Compreender e perceber, não decorar e executar tarefas sem sentido para ti. Esperamos que, com estes materiais e com as aulas que os teus professores prepararam, te encontres, muitas vezes, perplexo, a pensar sobre o que observaste e mediste. Porque, ao fim e ao cabo, esse é o trabalho mais importante e mais eficiente que podes fazer nesta disciplina.

Os autores

Parte I

ENERGIA E MOVIMENTO

Conteúdo

Ficha Técnica	i
Prefácio	iii
I ENERGIA E MOVIMENTO	1
1 Energia	7
1.1 A ciência e o dia-a-dia	7
1.2 Consumo de Energia	9
1.2.1 Consumos em Portugal e no Mundo	10
1.2.2 A energia gasta-se?	11
1.3 Conservação de Energia	13
1.3.1 A descoberta do neutrino	13
1.4 Consumo ou conservação?	16
1.5 Actividades, problemas e exercícios	17

Lista de Figuras

1.1	Sala de geradores da Central da Barragem de Hoover, no Colorado [2].	9
1.2	Esquema de um aproveitamento hidroeléctrico (adaptado de [2]).	10
1.3	Um espectro de decaimento β do ^{210}Bi (à data conhecido por Rádio E). A energia do electrão emitido pode variar entre 0 e um valor máximo (1.05 MeV). Tirado de um dos artigos clássicos, C.D Ellis e W. A Wooster, Proc. R. Soc. (London) A117 109 (1927).	14
1.4	Wolfgang Pauli (1900–1958), à esquerda, físico austríaco que sugeriu a existência do neutrino. Enrico Fermi (1901–1954), à direita, físico italiano, desenvolveu a ideia de Pauli e deu o nome definitivo ao neutrino.	16
1.5	Como o neutrino quase não interage com nada, para o detectar usam-se tanques subterrâneos gigantescos, cheios de água. A figura mostra o enchimento de um dos maiores, o Super-Kamiokande no Japão. É visível um pequeno bote com duas pessoas do lado direito (Foto do ICRR, Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo).	17
1.6	Esquema possível de alguns dos níveis de energia de um núcleo, antes e depois de um decaimento β	18

Capítulo 1

Energia

1.1 A ciência e o dia-a-dia

Alguma vez nos interrogámos porque é que Ciência, e a Física em particular, tem tantos conceitos e ideias estranhas e difíceis de compreender? Por que é que, mesmo quando usa palavras comuns, como força, energia, ou trabalho, elas parecem significar uma coisa muito diferente do que significam no dia-a-dia?

O mundo apresenta-se-nos com uma riqueza e variedade de fenómenos esmagadoras. A Física, descobriu ao longo dos últimos 300 anos—Galileu e Newton são considerados os seus fundadores—que é possível uma compreensão unificada desses fenómenos, em termos de um conjunto reduzido de leis. Essa compreensão está manifesta na capacidade que a Humanidade adquiriu de intervir na Natureza e a modificar profundamente, quer para seu proveito e benefício quer para seu prejuízo.

Mas houve um preço a pagar por essa compreensão. As referidas leis dizem respeito a entidades e objectos tão pequenos, a acontecimentos tão rápidos, que não são acessíveis à nossa percepção imediata. Por isso, os extraordinários fenómenos desencadeados por um gesto tão simples como ligar um interruptor, por exemplo, (ver a caixa 1.1 da página 8) passam totalmente fora da nossa consciência.

As ideias e conceitos da Física vão, pois, muito para além da nossa experiência quotidiana; temos que estar preparados para surpresas. Não é possível compreender a Física apenas a partir de ideias e conceitos da nossa experiência de todos os dias. Mas, como veremos, *só é possível compreender e fazer sentido da nossa experiência a partir das ideias e conceitos da Física.*

■ X acendeu a luz ■

X acordou num quarto em plena escuridão. Seguiu a sua rotina diária desencadeando, sem o saber, uma sequência de acontecimentos extraordinários.

O seu primeiro acto foi o de acender a luz do candeeiro de cabeceira. Ao fechar o interruptor dois fios de cobre tocaram-se. Imediatamente o movimento desordenado de um número incontável de electrões se modificou (incontável para qualquer um não apenas para o sonolento X), passando a ter sobreposta uma oscilação de 50 vezes por segundo.

Esse movimento decorria com facilidade em todo o fio de cobre. Mas este estava interrompido por um pequeno filamento de tungsténio onde os electrões colidiam com muito maior frequência com átomos a quem cediam energia. O movimento dos electrões persistia, no entanto, a agitação aumentava até que a emissão de radiação compensava a energia que os átomos do fio de tungsténio recebiam dos electrões e o quarto se enchia de luz.

A luz vinda do filamento, quase instantaneamente, pôs em movimento outros electrões, no *abat-jour* do candeeiro, nas paredes, no tecto, nas portas dos armários, nas roupas da cama. Estes voltaram a emitir radiação que agora preenchia o quarto vinda de todas as direcções (embora com maior intensidade do filamento de tungsténio).

X não notou nada disto. Estes acontecimentos extraordinários passaram-se tão depressa que para ele nenhum tempo passou desde que fechou o interruptor até que o número de partículas de luz que atingiam a sua retina, aumentou subitamente, vindas já de todo o lado. O resultado foi um conjunto ainda mais complexo de reacções químicas e físicas que terminaram (ninguém sabe como) no pensamento de X: “tenho que mudar esta lâmpada: tem uma luz demasiado forte!”

Caixa 1.1: O que acontece ao ligar um interruptor.

1.2 Consumo de Energia

Um dos conceitos mais importantes da Física é o de energia. Também aqui vemos um caso de um vocábulo comum, que adquire uma dimensão muito diferente quando usado no contexto científico.

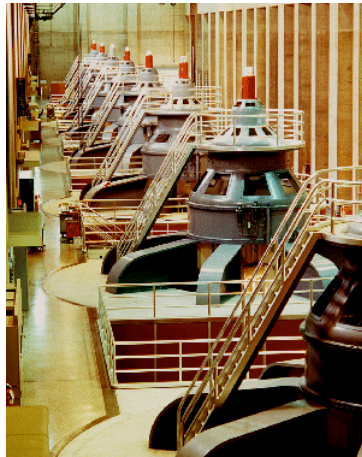


Figura 1.1: Sala de geradores da Central da Barragem de Hoover, no Colorado [2].

Se pedirmos a alguém que diga a primeira palavra que lhe vem à cabeça a propósito de **energia**, ouviremos com frequência: **consumo**. A energia gasta-se! Vejamos por exemplo de onde vem a energia gasta no candeeiro da história da Caixa 1.1.

Os fios de cobre do candeeiro referido na história estão ligados a outros que vêm da rua. Seguindo-os, encontramos grandes bobinas de fio enrolados à volta de massas de ferro; enrolado à volta da mesma massa de ferro está mais fio de cobre noutras bobinas.

Seguindo estes fios poderemos chegar a uma central eléctrica onde, mais uma vez, encontramos gigantescas bobinas de fio de cobre dentro de geradores, quase do tamanho de uma pequena casa (Fig. 1.1). No seu interior um conjunto de magnetos (ímanes) é posto em movimento por torrentes de água que descem do topo da barragem numa queda de centenas de metros até às pás de uma turbina ligada aos magnetos; o movimento desses magnetos é que movimenta os electrões nos enrolamentos de cobre e, em última análise, permite a X, e a muitos milhões de outras pessoas, encontrar o caminho no seu quarto iluminado.

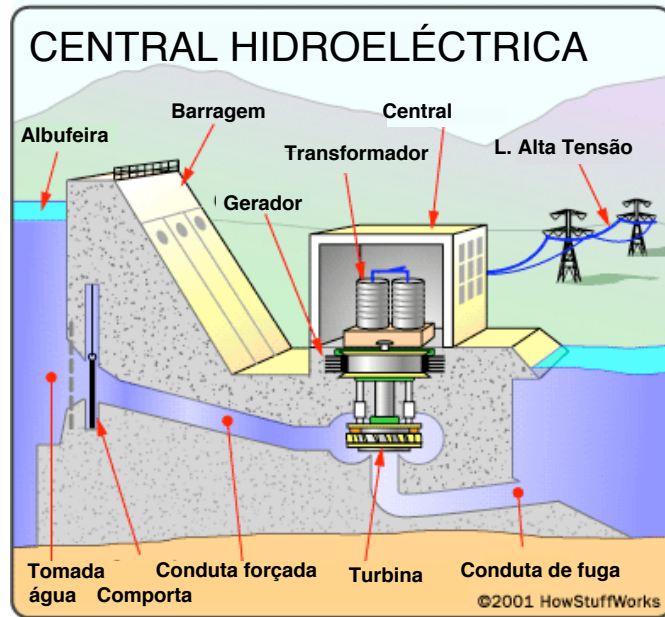


Figura 1.2: Esquema de um aproveitamento hidroelétrico (adaptado de [2]).

1.2.1 Consumos em Portugal e no Mundo

Os gestos de pessoas como X são repetidos todos os dias. As actividades humanas estão dependentes de fontes de energia. É interessante reflectir um pouco nos números de consumo energético a vários níveis. É uma boa oportunidade para recordar os conceitos de potência e as respectivas unidades.

▷ Actividade 1.1

Em casa

Os electrodomésticos indicam entre as suas características a respectiva *potência*, isto é, a energia consumida por unidade de tempo, quando ligados à rede eléctrica. A unidade SI de potência é o **watt**.

Consideremos a seguinte lista de consumos típicos de uma casa:

- iluminação, de potência total 300W, 4 horas por dia;
- fogão eléctrico, 2kW, 1 hora por dia;
- televisão, 400W, 4 horas por dia;
- máquinas de lavar, 1kW, 3 horas por dia;

- outros electrodomésticos (torradeiras, varinhas mágicas), 200 W, 1 hora por dia;
- aquecimentos, 2 kW, 2 horas por dia.

O consumo diário correspondente é cerca de 12 kWh, ou seja 360 kWh em cada mês.

▷ Actividade 1.2

No País

A energia eléctrica é fornecida aos consumidores a partir da rede eléctrica nacional, gerida por um empresa com o mesmo nome (REN) do grupo EDP. No *website* desta empresa é possível obter informações sobre os consumos nacionais de energia eléctrica [3], algumas das quais estão resumidas na Caixa 1.2 da página 12.

A esta escala, a unidade corrente de potência é o *gigawatt*, GW, que corresponde a um milhão de kW. Quantidades de energia são referidas em *gigawatt-hora* (GWh). O consumo diário em Portugal, 121 GWh, é cerca de 10 milhões de vezes superior ao que estimámos para um lar comum.

Só para a produção de energia hidroeléctrica é necessário turbinar diariamente cerca de 300 milhões de toneladas de água. Nas centrais térmicas alimentadas a carvão, onde é produzida a maior parte da energia eléctrica consumida em Portugal (34% do total), são queimadas cerca de 16 mil toneladas de carvão *por dia*.

No Mundo

Segundo dados da Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA) [1], são produzidos por dia em todo o mundo 41 *terawatts-hora* de energia eléctrica. Isto é, 41 mil milhões de kWh, quase 340 vezes mais do que em Portugal. Não é fácil imaginar as quantidades fabulosas de carvão, petróleo, gás natural, água turbinada, combustível nuclear, que todos os dias são consumidos, com inevitáveis impactes ambientais, para satisfazer esta insaciável fome de energia.

1.2.2 A energia gasta-se?

Afinal que acontece às prodigiosas quantidades de energia postas em jogo todos os dias? Não recuperamos os milhões de milhões de

■ Dados sobre consumo de energia eléctrica ■

Reúnem-se aqui alguns dados sobre consumos energéticos recolhidos da REN— Rede Eléctrica Nacional [3] e da IAEA— *International Atomic Energy Agency* [1]. São usadas as seguintes unidades:

- *gigawatt*, $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$;
- *kilowatt-hora*, $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$;
- *gigawatt-hora*, $1 \text{ GWh} = 10^6 \text{ kWh}$;
- *terawatt-hora*, $1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh}$.

<i>Descrição</i>	<i>Valores</i>	<i>Fonte</i>
Consumo mensal por habitação	360 kWh	Estimada
Potência instalada em Portugal	8,7 GW	REN
Consumo nacional diário	121 GWh	REN
Produção hidroeléctrica diária	21 GWh	REN
Produção em térmicas diária ^a	84 GWh	REN
Produção diária, outras fontes	16 GWh	REN
Consumo mundial diário	41 TWh	IAEA

Um juízo sobre o significado destes consumos pode ser feito a partir dos seguintes dados:

- O volume de água turbinado em média, por kWh, é cerca de 15 m^3 [4];
- o conteúdo energético do carvão é cerca de $6,1 \text{ kWh}$ por quilograma de carvão. Mas uma central térmica só consegue transformar em energia eléctrica cerca de 40% dessa energia, $2,4 \text{ kWh kg}^{-1}$.

^aO combustível de uma térmica pode ser carvão, gás ou *fuel*.

Caixa 1.2: Alguns números sobre consumo de energia eléctrica.

toneladas de carvão, petróleo ou gás natural, usados todos os dias neste processo.

A radiação solar que incide na Terra encarrega-se de evaporar diariamente milhões de milhões de toneladas de água e de a transportar de novo para o cimo das montanhas. E isso é apenas uma fracção ínfima da energia total da radiação que chega à Terra.

Mas passado um dia, um mês, um ano, ou mesmo um século, a Terra não mudou assim tanto. Há tanta água no mar, na atmosfera ou nas montanhas como antes. As montanhas estão no mesmo sítio. É certo que se fizeram algumas casas, há mais carros, etc., mas as quantidades de energia postas em jogo nesses processos são quase patéticas à escala planetária. Basta ver o que pode acontecer a essas construções num modesto estremecimento da Terra.

Que está a acontecer a esta energia toda? Está a desaparecer, a deixar de existir? Gasta-se, um pouco como o dinheiro do nosso bolso? Ou vai para algum lado?

1.3 Conservação de Energia

Se pedirmos a um físico que diga a primeira palavra que lhe vem à cabeça a propósito de **energia**, responderá com grande probabilidade: **conservação**.

Em ciência o conceito de energia está intimamente associado ao de conservação. O que o Princípio de Conservação da Energia afirma, é que em *qualquer transformação na Natureza*, há uma quantidade cujo valor antes e depois da transformação não se altera—a energia. Esta ideia tornar-se-á, gradualmente, mais precisa e será sempre verdade que:

energia é uma quantidade que se conserva.

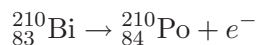
Afinal, gasta-se ou conserva-se?

1.3.1 A descoberta do neutrino

A descoberta do neutrino é um excelente exemplo de aplicação do princípio de conservação de energia.

Certos núcleos instáveis emitem electrões no decaimento—decaimento tipo beta. Um exemplo é o isótopo de número de massa 210 do

Bismuto, ^{210}Bi . Ao decair transforma-se no isótopo 210 de Polónio, ^{210}Po , e emite um electrão. Pensava-se que o decaimento era:



O electrão tem uma massa muito menor que a do núcleo e fica com quase toda a energia do decaimento; do mesmo modo que quando uma pistola dispara uma bala a energia fica (quase) toda na bala¹.

Ora, como os estados do núcleos antes (^{210}Bi) e depois (^{210}Po) do decaimento são sempre os mesmos, a energia com que os electrões são emitidos devia também ser a mesma, para todos os decaimentos de um dado isótopo. Mas não são; os electrões emitidos podem ter energias que variam continuamente desde 0 até um valor máximo (Fig. 1.3).

Esta dificuldade pode ser ilustrada por uma analogia. Um canhão de 20 toneladas dispara balas de 10 kg. É carregado sempre com munições idênticas. Mas de cada vez que dispara a velocidade dos projecteis é diferente. Os estados iniciais e finais do canhão não revelam quaisquer diferenças em cada disparo. As munições também não. Por que é que a velocidade de saída dos projecteis varia desde quase zero até uma velocidade máxima? Se as munições têm energia suficiente para disparar as balas com a velocidade máxima, o que acontece a essa energia quando saem mais lentas?

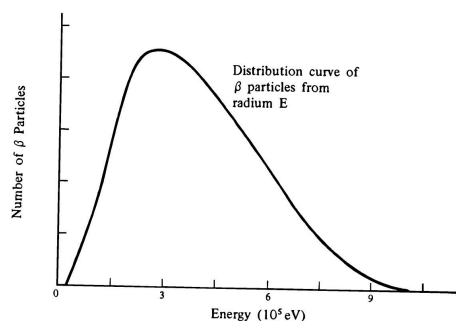


Figura 1.3: Um espectro de decaimento β do ^{210}Bi (à data conhecido por Rádio E). A energia do electrão emitido pode variar entre 0 e um valor máximo (1.05 MeV). Tirado de um dos artigos clássicos, C.D Ellis e W. A Wooster, Proc. R. Soc. (London) **A117** 109 (1927).

O espectro de um decaimento β^{-} está representado na Fig. 1.3. No eixo das abcissas representa-se a energia do electrão emitido.

¹Se a energia ficasse na pistola o disparo causaria mais danos em quem tinha a pistola, o que até nem era mau!

■ Unidades de energia ■

Os físicos e químicos usam, com frequência, unidades de energia diferentes do **joule**, em particular quando se referem a processos microscópicos que envolvem partículas elementares, núcleos, átomos e moléculas. Uma das mais usadas é o electrão-volt (**eV**) que vale

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

A energia necessária para ionizar um átomo de hidrogénio no seu estado fundamental, nesta unidade, é de **13,6 eV**. A energia necessária para destruir uma ligação química, na generalidade das moléculas, é da ordem de grandeza de **1 eV**.

No caso dos núcleos, as energias típicas são da ordem do milhão de electrão-volt, isto é, mega electrão-volt, abreviatura **MeV** (lido como *méve*). Por exemplo, a energia necessária para separar os prótons (2) e neutrões (2) do núcleo de hélio (partícula α) é de **28,3 MeV**.

Caixa 1.3: Unidades de energia

A ordenada, a cada energia, é proporcional à fracção de electrões emitidos com essa energia, quando observamos um grande número de decaimentos.

A solução deste mistério foi sugerida por Wolfgang Pauli, um físico austríaco, em 1930, numa curiosa carta escrita aos participantes de um congresso a que Pauli não pode estar presente².

Pauli preferiu **postular** a existência de uma partícula, a que chamou neutrão e que ninguém tinha detectado, a admitir que a energia não era conservada. A energia total do decaimento era distribuída entre o electrão e esta misteriosa partícula de tal modo que a soma das respectivas energias fosse constante. Como a partícula fantasma de Pauli não era detectada, a energia parecia não ser conservada.

Três anos mais tarde, Enrico Fermi explicou a forma do espectro observado e rebaptizou a partícula de Pauli de *neutrino*; entretanto tinha sido descoberto o neutrão (uma partícula neutra com massa semelhante à do próton) e Fermi sabia que o neutrino (neutrão pequenino) tinha que ter uma massa muito mais pequena.

Acontece que o neutrino é uma das partículas mais abundantes

postular: afirmar como verdade, ainda que sem prova, uma proposição não evidente.

²A razão invocada por Pauli foi que era necessária a sua presença num baile!



Figura 1.4: Wolfgang Pauli (1900–1958), à esquerda, físico austríaco que sugeriu a existência do neutrino. Enrico Fermi (1901–1954), à direita, físico italiano, desenvolveu a ideia de Pauli e deu o nome definitivo ao neutrino.

do universo, embora seja tão difícil de detectar que isso só foi conseguido 23 anos após a sugestão de Pauli.

A ideia de Pauli pode ter parecido um expediente, de natureza duvidosa, para “salvar” a lei de conservação da energia. Mas a Natureza deu razão à fé de Pauli nessa lei. O neutrino existe mesmo e pôde mais tarde ser observado, quer em decaimentos beta quer em outros processos (Fig. 1.5)

O século XX assistiu a modificações radicais da nossa concepção do mundo físico. Mas o princípio da conservação de energia manteve-se e, no caso do neutrino e em muitos outros, como o efeito fotoeléctrico, guiou-nos na descoberta de aspectos novos da realidade, mesmo antes de ser possível uma visão coerente da mesma. Hoje em dia, o conceito de energia (e outros com ele directamente relacionados) continua a ter um papel fundamental na ciência.

1.4 Consumo ou conservação?

Afinal, em que ficamos: a energia gasta-se ou conserva-se?

Veremos ao longo deste curso, que a energia, de facto, se conserva: sempre! O que acontece é que, tal como na história do neutrino, em muitos processos físicos é preciso olhar com muito cuidado para descobrir para onde foi a energia. Se não o fizermos, há parcelas que nos escapam, e no fim pensamos que temos menos energia do que quando começamos.

Ao longo deste curso, iremos, progressivamente, descobrindo novas maneiras de contabilizar a energia envolvida em diversos processos físicos. E acabaremos por descobrir que o princípio de conservação

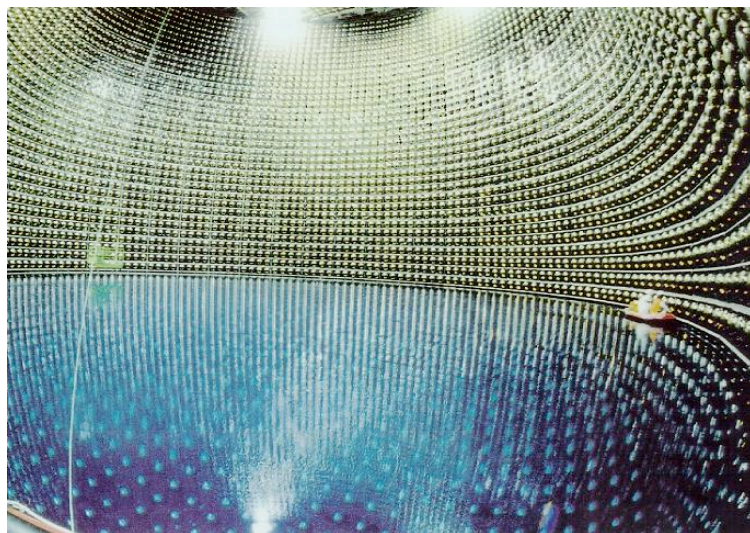


Figura 1.5: Como o neutrino quase não interage com nada, para o detectar usam-se tanques subterrâneos gigantes, cheios de água. A figura mostra o enchimento de um dos maiores, o Super-Kamiokande no Japão. É visível um pequeno bote com duas pessoas do lado direito (Foto do ICRR, Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo).

de energia é fundamental, até para compreender os processos do dia-a-dia em que, aparentemente, “consumimos” energia.

1.5 Actividades, problemas e exercícios

1.1. Unidades de energia e potência

Recordar conceito de potência e respectiva unidade no SI. Ver Ficha de Actividade A1.

1.2. Energia hidroeléctrica

Investigar alguns dados referentes ao consumo de energia hidroeléctrica no País e no mundo. Ver ficha de actividade A2.

1.3. O que gasta uma lâmpada de 100 W?

Consequências das necessidades energéticas. Ver Ficha de Actividade A3.

1.4. Espectro de decaimento β .

Imagine-se um núcleo com os níveis de energia representados à esquerda da Figura 1.6. Depois do decaimento o núcleo resultante tem o conjunto de níveis da direita. Como seria

o espectro de decaimento β (ver Fig 1.3), se apenas fosse emitido um electrão (sem neutrino) e o núcleo estivesse inicialmente no seu estado de mais baixa energia, E_0 ?

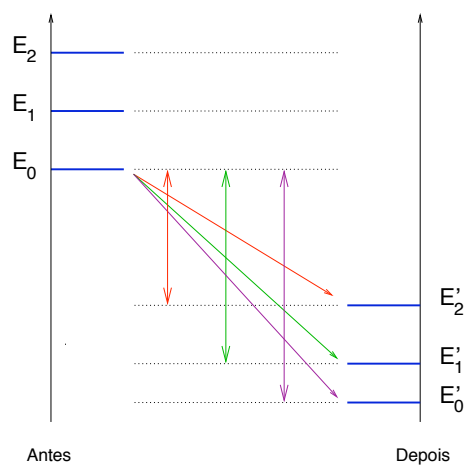


Figura 1.6: Esquema possível de alguns dos níveis de energia de um núcleo, antes e depois de um decaimento β .

Bibliografia

- [1] Internacional Atomic Energy Agency. Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up tp 2020. Technical report, IAEA, <http://www.iaea.org>, 2001.
- [2] HSW Media Networks. Howstuffworks. <http://people.howstuffworks.com/hydropower-plant.htm>.
- [3] REN. Rede eléctrica nacional, informação técnica. <http://www.ren.pt/sections/tecnica/maparen/default.asp>.
- [4] United States Geological Survey. Water science for schools. <http://ga.water.usgs.gov/edu/>.