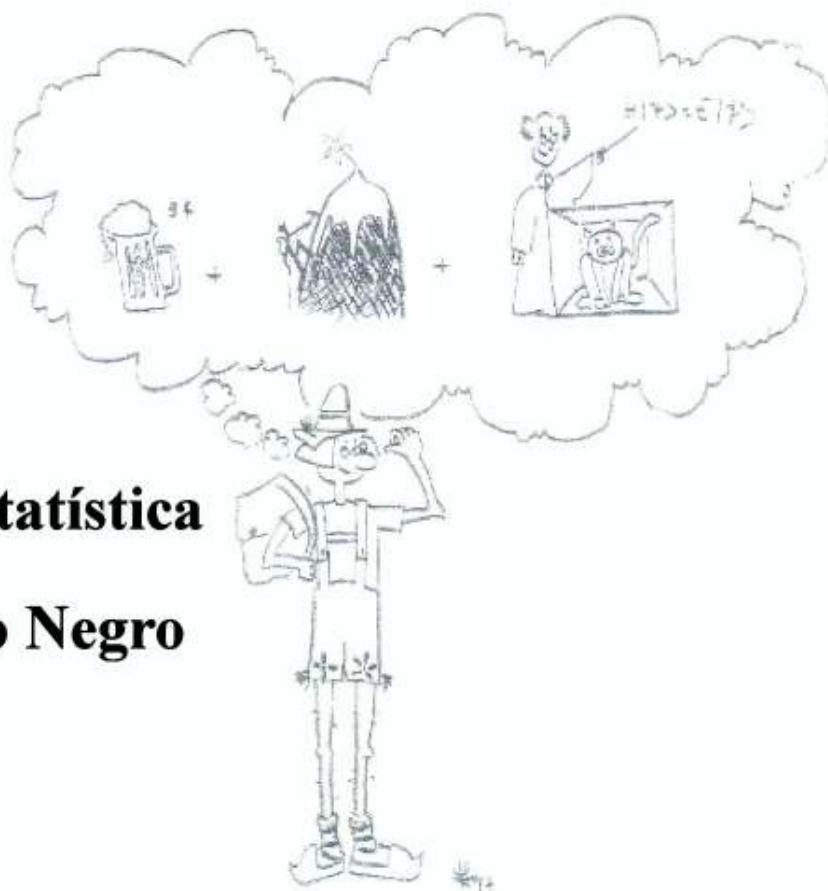


ENTREVISTA **com o PROFESSOR ALVES MARQUES**

TEORIAS **de GAUGE**

Termodinâmica Estatística **e a** **Radiação do Corpo Negro**



Queres ir a Viena? ICPS'97
Physis - Associação Portuguesa de Estudantes de Física

Sumário

-Entrevista com o Prof. Alves Marques	pág. 3
-Termodinâmica Estatística e a Radiação do Corpo Negro	pág. 6
- Encontro de Biodinâmica	pág. 9
-Seminários	pág. 10
-Teorias de Gauge	pág. 12
-Physis Associação Portuguesa de Estudantes de Física	pág. 16
- Notícias da Astronomia	pág. 17
- A Invencível Armada e a Evolução da Termodinâmica	pág. 18
- Conto Interminável	pág. 19
- Poesia	pág. 19
- B.D.	pág. 20

EDITORIAL

Maio de 1997

Olá colegas e demais leitores,
Dois anos já cá cantam. Finalmente atingimos um novo estágio de desenvolvimento. A apresentação gráfica do jornal tem vindo a melhorar substancialmente e neste número conseguimos atingir um objectivo há muito desejado, a cor (demorámos substancialmente menos tempo que a RTP). Mas enfim, o aspecto é de somenos. Esperamos que o conteúdo também tenha evoluído do mesmo modo, mas isso cabe ao leitor avaliar. Estes nove números do PULSAR exigiram muita dedicação e esforço de muita gente, não só dos membros da redacção mas também de todas as pessoas que embora não estando ligados directamente ao jornal, colaboraram activamente na sua execução. Por tal este número é-lhes dedicado...

A redacção do PULSAR

Ficha Técnica

Pulsar: Uma publicação do NFIST - Núcleo de Física do IST, Instituto Superior Técnico, Departamento de Física, Av. Rovisco Pais, 1096 LISBOA Codex
Editor: Hugo P. Gomes **Secção Científica:** Nuno Leonardo (Coordenador), Carlos Ramos, José Barros, Luís Oliveira, Nuno Cruz, Paulo Cunha, Rui Sá **Secção Cultural:** Rui Pita Perdigão (Coordenador), Hugo P. Gomes, José Pedro Pereira, João Jorge Santos, João Paulo Graciano **Espaço do Curso:** André Gouveia (Coordenador), Filipe Moura, Maria Lerer, Tiago Mota **Colaboração neste número:** Alexandre Caldeira, Alexandre Sousa, André Mendes, Ariel Guerreiro, Nuno Inácio, Nuno L. B. Morais, Pedro Castelo, Pedro Martins, Rui Bernardo **Arranjo Gráfico:** Hugo Gomes **Tiragem:** 500 exemplares

Edição Electrónica: <http://www.fisica.ist.utl.pt/pulsar>

Patrocinado por:



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Patrocinado por:

CENTRA

Centro Multidisciplinar de Astrofísica



**INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO
CFN
CENTRO DE
FUSÃO
NUCLEAR**



CFIF

CENTRO DE FÍSICA DAS INTERACÇÕES FUNDAMENTAIS

Instituto Superior Técnico-Edifício Ciência (Física)

Av. Rovisco Pais P-1096 Lisboa Codex

Tel: (351-1) 8419 092 Fax: (351-1) 8419 143

Júlio

Logrado de

Figueiredo

Lda

Rua António Pereira Carrilho 5, 1.º

1000 LISBOA Portugal

Tel 351.(0)1. 846 17 80 / 37 82 / 07 84

Fax 351.(0)1. 846 41 64

E-mail jlf@individual.puug.pt

ENTREVISTA com o PROFESSOR ALVES MARQUES

por André Gouveia, Hugo Gomes, Maria Lerer e Pedro Castelo

Agradecemos a colaboração do Professor António Brotas na preparação desta entrevista.

Manuel Alves Marques nasceu em 1930. Ingressou no Instituto Superior Técnico em 1947 com o número 2509 onde se formou em Engenharia Electrotécnica em 1953. Durante o ano lectivo de 1952/53, em simultâneo com a frequência do 6º ano curricular, entra para o lugar de segundo assistente desta instituição, sendo-o até ao ano de 1962. Nesse mesmo ano apresenta no IST uma tese de doutoramento sobre "A estrutura dos catiões complexos $Mg(H_2O)^{2+}$ e $Al(H_2O)^{3+}$ em solução", passando a ser primeiro assistente (que a partir de 1970 se viria a designar por Professor Auxiliar). No início dos anos 70 esteve em França onde desenvolveu estudos com Lasers e também experiências com líquidos sob alta pressão. Em 1974, por concurso, passa a ser Professor Extraordinário até 1979, ano em que se torna Professor Catedrático, por proposta do Dpto. de Física. Actualmente é Professor Catedrático do Departamento de Física do IST e trabalha em investigação no domínio da Física Molecular da Matéria Condensada, no Centro de Física da Matéria Condensada da Universidade de Lisboa (no ex-IFM).

PULSAR: Como era a Física e o seu ensino quando o professor entrou para o Técnico?

Prof. Manuel Alves Marques: Sim... Bom... Havia um professor de Física que dava uma cadeira anual chamada Física Geral e Experimental, que nós tínhamos no segundo ano e uma cadeira chamada,

salvo erro, Física Complementar que nós tínhamos no terceiro ano. Eram ambas anuais e quem dava

essas duas disciplinas era o Professor António da Silveira que, enfim, foi do Técnico a partir de 1933 e deixou de ser professor em 1974, por se ter jubilado.

O Professor António da Silveira conseguiu criar no seu laboratório condições favoráveis ao seguimento de uma carreira científica, adoptou nas disciplinas de Física que estavam sob a sua responsabilidade programas e métodos de ensino de nível adequado, actualizados e estimulantes. Fez investigação científica e orientou estudantes na investigação em Física no nosso país.

P: Quais eram as matérias que se davam?

M.A.M.: Pois... dava-se na Física... (chamada Física Geral e Experimental)... dava-se Mecânica, dava-se Termodinâmica, Electromagnetismo até ao Campo Electromagnético Variável... (portanto dava-se o Campo Electrostatico e o Campo Estacionário), e dava-se um bocadinho de Termodinâmica Estatística no fim, no aspecto da Teoria Cinética dos Gases... e isto era na Física Geral e Experimental. Na Física Complementar continuava-se com o Campo Electromagnético Variável, dava-se a Teoria da Relatividade, a Óptica, a Teoria dos Electrões, quer dizer, o Campo Electromagnético Variável criado por um

eléctron em movimento – a Electrónica neste sentido. Na Óptica dava-se um bocadinho da Óptica dos meios isotropos e dos meios anisotropos... acho que eram essas as matérias... e depois isto, digamos, quando eu vim para o Técnico, portanto isto era em 48, há quase 50 anos...(risos)... Quer isso dizer que eu

estou bastante velho... Este programa foi-se modificando e o Professor Silveira

resumiu alguns destes assuntos: a Mecânica, a Termodinâmica, e o Electromagnetismo (talvez tenha suprimido algum capítulo) e incorporou à volta de 1960 a Mecânica Quântica na Física Complementar, portanto na Física II. Nós chamávamos Física I à que era dada no 2º ano e Física II à que era dada no 3º ano. Estas disciplinas eram para todos os cursos do IST. Nessa altura havia só cinco especialidades que eram: Civil, Electrotecnia, Minas, Máquinas e Química. Havia ainda uma disciplina chamada Química-Física que era só para o curso de Química e que era dada no 5º ano. Nesse tempo o curso era de seis anos, e como eu era Electrotécnico não tive essa disciplina. Só sei que essa disciplina passou a chamar-se, não sei exactamente em que ano, mas aí à volta dos anos 60, Mecânica Quântica/Física Nuclear e aí o Professor Silveira desenvolvia a Mecânica Quântica que dava ao curso geral e acrescentava umas noções de Física Nuclear. Essa disciplina depois passou a ser de opção para o curso de Electrotecnia, obrigatória para o curso de Química, e portanto, isto era o ensino da Física à volta dos anos 60.

P: Falou na Mecânica Quântica, como é que foi introduzida no Técnico?

M.A.M.: Esse assunto era incluído como Mecânica Ondulatória... o Professor Silveira publicou umas folhas que se chamavam "Introdução à Mecânica Ondulatória" e esta era a versão ondulatória da Mecânica Quântica. Tratava-se até à composição de momentos angulares e ao átomo de hidrogénio. Davam-se os princípios da Mecânica Quântica, todo este formalismo, os espaços de Hilbert... e depois faziam-se aplicações sobre o oscilador harmónico linear, as barreiras de potencial, os fossos de potencial, o momento angular e o átomo de hidrogénio.

P: Como é que era encarada em termos de teoria avançada da altura? Como é que as pessoas aceitavam a Mecânica Quântica?

M.A.M.: Bom... de uma maneira geral, como não havia aqui licenciatura em Física, havia muitos alunos que toleravam com dificuldade o ensino da Física porque diziam que isto era um luxo e que não se devia ensinar tanta Física a Engenheiros!... Alguns estudantes... de facto havia pessoas que gostavam tanto que passavam a fazer Física, aliás eu sou um dos exemplos. De facto gostei bastante dela, o programa era dado de uma maneira crítica, de uma maneira muito estimulante. Nós saíamos das aulas cheios de dúvidas, em vez de estarmos

...o doutoramento é a carta de condução! Com isso é que a pessoa faz o exame de aptidão à investigação!

em paz ficávamos em guerra, quer dizer, aquilo era dado de uma maneira que exigia que nós tivéssemos muito trabalho a esclarecer, porque era posto... digamos... criava-nos muitos problemas, de maneira que era muito estimulante.

P: O professor acabou por fazer um doutoramento em Física. Quais eram as dificuldades que sentia em fazer investigação cá em Portugal?

M.A.M.: Uma dificuldade era esta: nós éramos obrigados a dar doze horas de aulas por semana quando tínhamos uma regência, e eu tive uma regência durante dois anos... portanto ao todo era da ordem das quinze horas por semana. Tínhamos que fazer pelo menos quinze horas e isso era de facto muito tempo... quinze horas! Agora contem com isso e com as aulas para esclarecimento de dúvidas que não eram contadas nessas horas. A nossa disponibilidade para com os alunos tinha que ser fora disso. A preparação das aulas era de facto uma acrobacia, isto do ponto de vista da nossa dedicação pessoal, da nossa disponibilidade.... Depois, todas as dificuldades relativas às verbas. Não havia facilidades para equipamento, as deslocações ao estrangeiro, até mesmo no país... (para nos deslocarmos no país éramos nós que quase tínhamos que pôr dinheiro, muito pouco, do nosso bolso para complementar aquilo que nos davam para a viagem de comboio)... (risos)... Lembro-me que uma vez para ir a Coimbra... (risos)... não chegou para o pequeno-almoço. Ninguém morria por isso, mas havia de facto dificuldades. Serem os assistentes obrigados... (porque os assistentes é que são, digamos, as pessoas que têm que arrancar) e nessa altura têm que fazer um esforço muito grande. No começo da investigação têm que estudar de uma maneira exaustiva. Ora quando sobrecarregavam as pessoas logo ao início com doze a quinze horas de aulas... e isto antes do doutoramento! Depois do doutoramento... e vocês sabem que o doutoramento não é o fim de uma carreira, é o começo de uma carreira. É como uma pessoa obter a carta de condução, o doutoramento é a carta de

condução! Com isso é que a pessoa faz o exame de aptidão à investigação! Mas depois disso diziam assim: "Já tem o doutoramento então ainda se lhe podem dar mais aulas...", de maneira que eu depois fiz dezoito horas de aulas por semana, seis horas teóricas e doze práticas, e por vezes vinte, porque havia mais umas *aulazitas* que convinha que eu desse porque, enfim, já tinha dezoito podia ter vinte, de modo que o tempo era de facto muito e nós tínhamos muito pouco para investigar.

Como digo as verbas também eram exíguas. Eu consegui fazer algum trabalho com um subsídio para equipamento que foi concedido pela *Shell* ao Instituto de Alta Cultura. Esta verba foi obtida por conhecimento pessoal, quer dizer, não era que a *Shell* desse bolsas de estudo ou subsídios de investigação... "pronto o Estado não dava mas a *Shell* dava!" E nesse tempo não havia Gulbenkian... não havia hipótese de recorrer a bolsas. Mas não, é que um dos administradores da *Shell* era conhecido do Professor António da Silveira.

P: Que tipo de material era utilizado nessas experiências? Era comprado, era emprestado, era fabricado pelos investigadores?

M.A.M.: Algum equipamento tinha que ser comprado no estrangeiro, um espectroscópio nós não o podíamos fazer em Portugal. Havia equipamento que era de facto adquirido no estrangeiro e havia outro equipamento que era instalado em montagens então fabricadas numa oficina de mecânica de precisão que nós felizmente tínhamos anexa ao laboratório de Física, em que um operário especializado fazia as adaptações. Concretamente... um prisma birrefringente comprava-se no estrangeiro, numa casa especializada de óptica e depois era instalado, digamos, num conjunto em que existiam, por exemplo, parafusos de pequenos movimentos, em que havia todas as regulações que nós tínhamos necessidade de fazer para adaptar o equipamento às medidas que tínhamos que fazer.

P: As coisas agora são muito diferentes, como é que em traços gerais vê a evolução da ciência desde esse tempo até ao presente?

M.A.M.: Bom, por um lado há as facilidades que as pessoas têm: exigem-lhes muito menos tempo de docência e as pessoas têm muito mais disponibilidade. Por outro lado há o

encarar-se que fazer investigação é importante para a nossa escola. Nesse tempo havia esta atitude... e eu posso citar... (quando me deram estas sugestões eu consultei as *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa* que em 1984-85 publicaram um texto do professor António da Silveira, de quem eu fui assistente durante muito tempo). Chama-se este texto: "*Comentários imperfeitos com elementos para uma história dos estabelecimentos científicos em Portugal*", e ele [Prof. Silveira] referindo-se justamente ao Instituto Superior Técnico dizia assim: "**no IST havia uma feroz oposição à ideia de investigação. Uns membros do conselho, quase todos, diziam — o Instituto Superior Técnico não é para fazer investigação... o Instituto é para fazer administradores de empresas**"... Isto era, digamos, o que segundo o professor António da Silveira dizia, o ambiente do IST.

Hoje não é assim, não sei se voltaremos... a história às vezes é cíclica... Bom, mas agora, por exemplo, um assistente diz que quer ir a um laboratório estrangeiro fazer investigação e não se riem dele! Já olham para as pessoas com um certo respeito, quase sempre essa pretensão é satisfeita. Até às vezes em prejuízo do ensino — um assistente pode estar a fazer bom serviço por já ter, por exemplo, dois anos de rodagem numa determinada disciplina, e substitui-se essa pessoa por um inexperiente para permitir que esse assistente vá fazer os seus estudos. Não há resistência normalmente a estas coisas.

Isso é um ponto... os assistentes terem muito tempo livre. Eu digo assistentes porque são os assistentes que têm que arrancar, e arrancar quanto mais cedo melhor,

não é aos sessenta anos que se começa a fazer investigação! É fresquinho, com 22 anos, o mais cedo possível.

Portanto há esse aspecto da docência ser mais reduzida e o aspecto de se concederem facilidades a determinadas pessoas de irem a centros científicos de excelência, estrangeiros, fazerem o seu progresso científico.

Por outro lado... enquanto nessa altura havia um professor de Física no Técnico, naturalmente com uma certa área de conhecimento que dominava bem, agora nós temos para aí uns dez professores catedráticos, não sei bem quantos são e talvez outros tantos associados... Portanto os estudantes têm à sua disposição um

... "no IST havia uma feroz oposição à ideia de investigação. Uns membros do conselho, quase todos, diziam — o Instituto Superior Técnico não é para fazer investigação... o Instituto é para fazer administradores de empresas"...

leque muito grande de domínios científicos por que podem optar. Antes, se a gente acertava com o tema de interesse do Prof. António da Silveira, pronto!... sim senhor, tínhamos da parte dele um apoio, mas se por acaso... (claro, não digo que as pessoas sejam muito más de boca quando começam a trabalhar). Normalmente quando começam a trabalhar

...não é aos sessenta anos que se começa a fazer investigação! É fresquinho, com 22 anos, o mais cedo possível.

não têm assim uma opção muito dirigida, mas têm os seus gostos... Isso é um outro aspecto.

Meios de cálculo... não havia e agora há. Computadores no Técnico acho que começaram a aparecer cerca de 1968 ou coisa assim. Antes haviam as régua de cálculo e as máquinas de calcular, de manivela, da contabilidade... (A régua de cálculo é uma coisa cómoda porque dá ordens de grandeza...)

P: No seu entender qual é o futuro da Física/Ciência?

M.A.M.: Eu profeta não sou!... Eu julgo que nós não estamos tão adiantados que possamos ter um paladar muito requintado. Qualquer coisa que vier é ganho, quer dizer, não vou privilegiar áreas do conhecimento científico. Acho que em todas as áreas nós temos que nos aperfeiçoar. Acho que todo o aperfeiçoamento científico que os nossos estudantes quizerem promover é bem vindo! Não há perigo de haver distorções, não há perigo de fabricarmos monstros! ...e no nosso país?...

Diz-se muito que o Técnico é o paraíso... Mas nas outras escolas, nas outras universidades há pessoas que estão a fazer bom trabalho... o Técnico tem é muita gente! É talvez das escolas mais populosas do nosso país... Acho que nas outras universidades estão a fazer trabalho sério. Não digo nomes porque me posso esquecer doutros tão importantes ou mais do que aqueles que me viessem à cabeça!...

Acho que há vantagem em nós termos colaboração com pessoas de Física doutras universidades, acho que só nos prejudicamos se quisermos fechar-nos na nossa torrezinha e dizermos que nós é que somos bons e os outros não interessam...

P: Hoje em dia já é mais comum existirem pessoas com graus académicos mais elevados. Quando fez o doutoramento havia pouca gente. Em termos sociais como é que era encarada uma pessoa com grau académico elevado como um doutoramento?

M.A.M.: Não havia um tratamento especial, como sabem ainda hoje, apesar

de no Técnico se responder positivamente às pessoas que pretendem fazer investigação científica... não se responde a essas pessoas com ar de quem está a tratar com um maluco!... Apesar disso o ambiente no nosso país ainda é muito céptico em relação à investigação científica! Porque as pessoas dizem que os meios de que dispomos são

tão pobres — não há aceleradores de partículas no nosso país, não há um ciclotrão... não há as instalações que há noutros países. No nosso meio, os médicos, os veterinários, os comerciantes... nessas pessoas há uma atitude de cepticismo muito grande em relação àquilo que é a investigação científica. Portanto... agora encaram-se as pessoas que fazem doutoramento, como outras pessoas quaisquer... algumas pessoas dizem que aquilo não serve para nada, que a investigação científica não terá um lugar entre nós, não será considerada entre nós. Na altura em que eu fiz as provas, agora é banal... na altura era sintoma de uma certa paranóia. Por exemplo... quando eu fiz o doutoramento abriu-se concurso para professor de Física, e não se esperou que eu fizesse o doutoramento porque achavam que isso não tinha importância de maior.

P o d i a m concorrer pessoas que não eram doutoradas! Não se ligava especial importância... não se ficava em nenhum altar

...Acho que há vantagem em nós termos colaboração com pessoas de Física doutras universidades, acho que só nos prejudicamos se quisermos fechar-nos na nossa torrezinha e dizermos que nós é que somos bons e os outros não interessam...

pelo facto de se estar a fazer um aperfeiçoamento da sua carreira científica.

P: Podia-nos dar uma ideia breve da sua carreira científica?... Sei que esteve em França...

M.A.M.: O meu assunto de investigação tem sido sobre soluções líquidas, tentei fazer um estudo sobre a estrutura das soluções.... de facto quando estive em França tive a possibilidade de falar com pessoas sobre estes assuntos. Tive a incumbência de estudar como poderiam os Lasers ajudar a progredir a nossa investigação científica. Utilizei um Laser de Argon ionizado de funcionamento contínuo, e um outro, de funcionamento pulsativo, era de vidro com neodímio. Pude fazer experiências com líquidos sob alta pressão (2500 atm). Interessei-me pelo fenómeno de transferência por indução própria que tem a ver com a coerência da desexcitação dos átomos

num meio absorvente.

Estive em França na altura em que os Lasers estavam em efervescência. Apareceram em 1960, em 1970 discutia-se imenso, como não havia grandes ideias assentes quais eram os Lasers mais adequados para este ou para aquele tipo de investigação. A própria teoria do laser era mal conhecida. Encontram-se em 1976 artigos sobre teoria de lasers que são desmentidos mais tarde ou comentados com reservas mais tarde. O fenómeno da super-radiância que começou a ser falado em 1954, antes dos lasers serem descobertos, tem vindo a ser discutido até hoje de uma maneira estimulante. Como eu nunca tinha estado fora do país durante um período longo ... de facto, era uma encruzilhada de temas por todos os lados, eram duches frios que nós recebíamos de toda a parte. Infelizmente, depois quando cá cheguei, o país estava naquele período de incertezas, a seguir a 74. As universidades estavam em efervescência e viviam-se dificuldades de outro tipo. Já não tinha a mesma juventude...

Hoje em dia, tenho um grupo de colaboradores que me tem permitido esclarecer problemas da estrutura de

soluções aquosas líquidas. Têm sido publicados resultados em revistas científicas internacionais e temos conseguido tempo de feixe para as nossas investigações em grandes laboratórios europeus em que se utiliza o radiação de sincrotrão. Vamos este mês pedir mais tempo de feixe no sincrotrão de Daresbury, em Inglaterra. As experiências preliminares têm sido feitas no nosso País.

P: Voltando um pouco atrás, o Professor Brotas referiu-nos que um assistente ganhava só 10 meses...

M.A.M.: Nós ganhávamos, nessa altura, à volta de dois contos e como era só durante

Número 9
P u l s a r

nove a dez meses ganhávamos cerca de 18 contos por ano... e nessa altura já se pagava de renda de casa um conto por mês. Quer dizer, uma pessoa ficava com quinhentos escudos para comer. Isto era em 1952. As pessoas tinham que fazer outras coisas. Eu não sentia muito porque estava a viver em casa dos meus pais, os meus pais sustentavam-me e eu dava qualquer coisa para ajudar... Mas de facto uma pessoa que constituísse família pagava mil escudos de renda de casa e ficava com quinhentos para comer e para os filhos... era um sarilho de facto! Eu não senti muito pelo motivo que expliquei.

Quando me perguntou o que é que era desejável para o bem da Ciência no nosso país esqueci-me de referir... Eu tenho uma curiosidade pelas Ciências da Vida e acho que a Física pode dar uma ajuda, mas também acrescento que aqui há tempos falando com um físico estrangeiro, ele dizia-me "olhe que um físico não é a pessoa mais indicada para estudar as Ciências da Vida, é preciso uma outra acuidade que os físicos não têm". Em relação cá a Portugal, o que eu acho que deve fazer-se, e procurarei lutar por isso enquanto tiver forças, é haver laboratórios de Física Experimental que possam... sim senhor, nós não podemos ter aceleradores de partículas. A nossa nação, a comunidade portuguesa, não pode suportar essas despesas, mas que tenhamos alguns laboratórios em que nós possamos fazer experiências preliminares, para ver se a coisa dá ou não dá. E depois ir aos grandes centros europeus fazer as experiências com o tempo de feixe que nos proporcionem. Mas fazermos cá qualquer coisa, porque de facto só estudar Física pelo livro não dá! Eu esforcei-me por fazer Física Experimental, tive muitas dificuldades como vocês calculam, por tudo isto em que estivemos aqui a falar. Mas teria muito mais dificuldade em ir a um centro europeu fazer experiências se não tivesse feito

cá as tentativas que fiz. Hoje, por exemplo, a minha mulher vai a um sincrotrão em Orsay nos arredores de Paris fazer experiências, mas as motivações e as angústias foram cá em Portugal que foram fabricadas, e fabricadas por causa da impossibilidade de ir mais longe no equipamento que nós cá temos. Mas se nós não tivéssemos nada nem as dificuldades sentíamos, nem sabíamos a que as atribuir. Para obter feixes nesses grandes laboratórios (o comité científico não está ali para os senhores se divertirem) filtram muito bem os pedidos. Se uma pessoa não sabe pedir, vai para o lixo o pedido! Eu acho que deveríamos lutar contra todo esse ceticismo que existe no nosso país contra a Física Experimental. E lutar para que existam cá pequenos laboratórios. Por exemplo os *Lasers* são um equipamento científico relativamente barato, um *Laser* não custa o que custa um grande acelerador de partículas, mesmo um bom *Laser*. E podem fazer-se muitas experiências interessantes com *Lasers*. É claro que eu estou a dar o exemplo dos *Lasers* porque é evidente que conheço melhor isto. Isto parece-me que é desejável, que os nossos estudantes contactem com esses pequenos laboratórios e adquiram a sensibilidade que é necessária para depois se movimentarem no resto do universo...

(a propósito do doutoramento)...

...Uma pessoa queria doutorar-se, tinha que apresentar a tese de doutoramento, e tinha uma prova prática e era submetida a um duplo interrogatório. Era o seguinte: com noventa dias de antecedência antes da data das provas afixavam doze pontos de Física das mais variadas áreas científicas. Eram coisas ligadas com a Física mas... Por exemplo, eu fiz uma tese sobre estruturas líquidas que estudei com espectroscopia de efeito de Raman, e um dos pontos [do interrogatório] era: "Propriedades magnéticas da matéria",

isto é uma coisa para estudar durante anos! Bom, estes doze pontos, porque os professores que faziam parte do júri eram especialistas nesses assuntos e então pediam aquilo que sabiam porque havia anos e anos que os estudavam. Nós, em princípio, podíamos ser examinados sobre esses pontos. Com quarenta e oito horas de antecedência, em relação à data das provas, retirávamos dois à sorte. Portanto durante esses noventa dias tínhamos que estudar os doze pontos porque dois iam sair e depois com quarenta e oito horas de antecedência tirávamos dois à sorte para sermos interrogados sobre esses pontos no dia da prova. As provas eram em dois dias, num dia era o interrogatório sobre os pontos e no outro dia era a apresentação da tese. Não se dormia, nem se comia... os assuntos eram tão vastos que nós os seis ou sete dias que tínhamos de estudo durante os 90 dias anteriores para os estudar eram nada, os assuntos eram vastíssimos! Nessas quarenta e oito horas ao menos dava para sabermos a ortografia, o nome dos cientistas que tinham trabalhado naquilo...

...Estávamos convictos que íamos fazer uma figura triste, visto que era uma luta desigual que nós íamos travar. Diziam que o Einstein quando ouviu falar nesse regime de pontos disse "ah, eu chumbava com certeza".

PULSAR: Na Europa toda era assim?
M.A.M.: Só em Portugal, julgo que no estrangeiro já não era assim, já eram só assuntos ligados à área da tese. Em França, pelo menos em 70, já não era assim. Não digo que isto fosse invenção sádica do Lusitano. Acho que se teria feito isso em tempos mas que Portugal ainda não se tinha adaptado à moda. É claro que agora também somos, dir-se-á talvez, demasiado restritivos porque acho que vale a pena uma pessoa ter uma visão mais alargada para além da sua especialização restrita...

Termodinâmica Estatística e a Radiação do Corpo Negro

Excertos de um trabalho de Termodinâmica
Alexandre Caldeira, 2º ano da LEFT

A Física no Final do Século XIX

No final do século XIX, Albert Michelson, laureado Nobel, disse que tudo o que faltava fazer na física era determinar as constantes universais com mais casas decimais. Com efeito, a maior parte dos físicos dessa altura julgava que a física era uma ciência que já estava feita, não haveria mais inovações. Eles

tinham a certeza de muitas coisas, de entre as quais:

1- o universo era como que uma máquina gigante num referencial de tempo absoluto,

2- o universo era um conjunto de causas e efeitos, determinados pela lei de Newton; se um movimento fosse perfeitamente definido numa dada altura,

o movimento podia ser completamente determinado. Nada era incerto, havia determinismo causa-efeito,

3- as propriedades da luz eram completamente descritas pela teoria de Maxwell,

4- existiam dois modelos físicos para representar a energia num movimento: um era a partícula, representada por uma bola de bilhar impenetrável, o outro era a onda, como as ondas do oceano. Estes dois modelos eram mutuamente exclusivos,

5- era possível medir as propriedades físicas de um sistema com uma precisão arbitrariamente grande.

Os físicos clássicos diziam que todas estas afirmações eram absolutamente verdadeiras. A relatividade e a mecânica quântica vieram pôr em causa todas estas afirmações.

A Lei de Distribuição das velocidades de Maxwell

Em 1859 J.C. Maxwell desenvolveu a teoria cinética dos gases, encontrando a lei de distribuição das velocidades das partículas de um gás. Maxwell entendeu um gás como biliões de partículas movendo-se rápida e aleatoriamente, colidindo umas com as outras, e com as paredes do recipiente que as continha. As partículas eram como bolas rígidas, com diâmetros muito pequenos quando comparados com as distâncias entre elas, sofrendo umas com as outras colisões elásticas.

Esta interpretação era qualitativamente coerente, se aceitarmos a noção de que o aquecimento provoca uma maior agitação molecular.

A teoria de Maxwell é baseada na estatística. O problema estava em encontrar um modelo a nível microscópico (isto é, aplicado às partículas) que estivesse de acordo com as propriedades macroscópicas (ou seja, que se podem medir em laboratório).

A partir de algumas hipóteses, sendo as mais importantes as duas seguintes, Maxwell encontrou o modelo desejado.

1- Hipótese de isotropia das velocidades. Esta hipótese é bastante intuitiva para quem está habituado à física clássica, diz apenas que as partículas do gás se movem uniformemente no espaço, ou seja, não há nenhuma direcção privilegiada. Assim sendo, a lei da distribuição das velocidades deverá ter simetria esférica.

2- Hipótese de independência das velocidades. Admite-se que a lei de distribuição das velocidades segundo um dado eixo depende apenas da componente

da velocidade segundo esse eixo. Assim, a lei de distribuição de velocidades segundo x dependerá apenas de v_x e não de v_y nem v_z . Esta hipótese é, para mim, menos intuitiva do que a primeira. Admitamos um gás cuja velocidade média das partículas é de 200m/s. Admitamos ainda duas partículas, uma com a velocidade segundo y de 400m/s e a outra de 0m/s (suponhamos que as velocidades segundo z das duas partículas são iguais). Intuitivamente é mais provável que a segunda molécula tenha uma velocidade segundo x superior à primeira mas, segundo a hipótese da independência das velocidades, esta intuição será falsa, a probabilidade da primeira molécula ter a velocidade v_x é igual à probabilidade da segunda molécula ter essa velocidade.

Admitindo estas hipóteses Maxwell chegou à lei da distribuição das velocidades das partículas, apresentada a seguir. Esta lei dá informação acerca dos biliões e biliões de partículas, sem calcular o movimento de uma única.

$$F(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2KT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{1}{2}mv^2/KT}$$

Boltzmann e a Mecânica Estatística

Na década de 1870 Ludwig Boltzmann (1844-1906) fez, inspirado na teoria cinética de Maxwell, grandes avanços na termodinâmica estatística.

As hipóteses de Boltzmann eram essencialmente as seguintes:

1- Discernibilidade das partículas constituintes de um gás.

2- Repartição do espaço das fases em macrocélulas e definição de um estado macroscópico e de uma complexão para cada distribuição possível das partículas pelo espaço das fases.

3- Hipótese de igual probabilidade de todas as complexões.

4- Hipótese do estado de equilíbrio corresponde ao estado de probabilidade máximo, ou seja, o estado macroscópico de equilíbrio é aquele que possui maior número de complexões possíveis.

5- Apesar das hipóteses precedentes serem suficientes para edificar uma teoria estatística coerente, Boltzmann introduziu uma hipótese suplementar, que revela o seu grande génio: Como os estados de equilíbrio se identificam por máxima probabilidade e por máxima entropia (resultado da termodinâmica clássica), e como num sistema definido por dois subsistemas a entropia e a probabilidade de cada estado são respectivamente a soma e o produto das entropias e das probabilidades dos

subestados, Boltzmann escreveu $S = K \cdot \log W$. Esta expressão permitirá identificar a temperatura, grandeza termodinâmica, com o grau de agitação molecular.

A estatística de Boltzmann conduz a uma lei de distribuição da forma exponencial (ver, por exemplo, Bruhat, 1962):

$$N_i = e^{-\alpha - \beta u_i}$$

No caso em que a energia molecular é uma soma de termos, em que cada termo depende apenas de uma coordenada do espaço das fases, a lei de distribuição anterior leva à seguinte fórmula, chamada fórmula de Boltzmann:

$$\frac{dN_i}{N} = \frac{e^{-u(x_i)/KT} dx_i}{\int e^{-u(x_i)/KT} dx_i}$$

Se a energia é a soma de formas quadráticas de coordenadas do espaço das fases estamos numa situação em que se pode aplicar a fórmula anterior. Através de uma conta simples (Bruhat, 1962, pág. 501) chegamos ao teorema da equipartição de energia: se a energia molecular for uma função quadrática das variáveis do espaço das fases, a cada variável (grau de liberdade) corresponde uma energia média igual a $kT/2$.

Retenhamos então o seguinte resultado, que utilizarei adiante: a energia de um sistema está, na situação de equilíbrio térmico, partilhada igualmente entre todos os graus de liberdade.

Ainda no caso em que a energia é a soma de formas quadráticas de coordenadas do espaço das fases, podemos aplicar a fórmula anterior ao caso dos gases ideais (desprezando o efeito do campo de gravitação) e obtemos a lei da distribuição das velocidades de Maxwell. De notar que é assim possível deduzir a lei de Maxwell sem ter de pôr a hipótese da independência das velocidades, atrás referida.

A Radiação do Corpo Negro

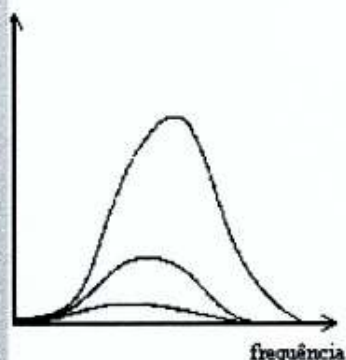
Quando um objecto é

aquecido, emite radiação que consiste em ondas electromagnéticas, ou seja, emite luz, com uma larga gama de frequências.

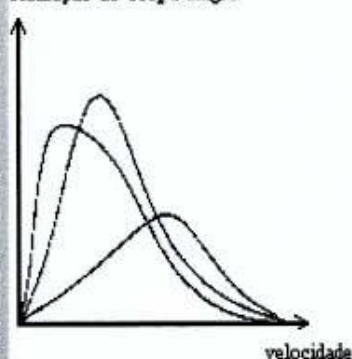
Um corpo negro é um corpo que absorve toda a radiação que nele incide.

Ao fazerem-se medidas da radiação resultante de uma cavidade aquecida, que se comporta como um corpo negro, verificou-se que a energia varia bastante com a frequência da radiação. Além disso, as frequências dominantes evoluíam para valores mais altos com o aumento da temperatura.

Estas curvas de radiação, um dos problemas centrais da física teórica do fim do século XIX, eram bastante similares às calculadas por Maxwell para a velocidade das partículas de um gás:



Radiação do corpo negro



Distribuição das velocidades de Maxwell

A Lei de Rayleigh-Jeans e a Catástrofe Ultravioleta

Seria possível estudar a radiação do corpo negro da mesma maneira que Maxwell e Boltzmann estudaram os gases?...

Ondas electromagnéticas, em vez de partículas de gás, em equilíbrio térmico dentro de um contentor. É de notar que Wien encontrou a lei do deslocamento para o corpo negro baseado apenas em métodos da termodinâmica⁽¹⁾. As consequências desta lei são $\lambda_{\text{max}} \cdot T = C^{\text{te}}$ e $E = b T^4$ (esta última conhecida por lei de Stefan), que, na altura, eram resultados aceites.

Assim os físicos Ingleses Lord Rayleigh (1842-1919) e Sir James Jeans (1877-1946) usaram o mesmo tipo de hipóteses utilizadas por Boltzmann para a teoria cinética dos gases obtendo a fórmula:

$$u(\lambda) = \frac{8\pi K}{\lambda^4} T$$

Em primeiro lugar é de observar que, como era de esperar, concorda com a lei do deslocamento de Wien.

A fórmula anterior, também chamada fórmula de Rayleigh-Jeans, concorda bem com realidade para altos comprimentos de onda, mas falha completamente para os baixos. Com efeito, se esta lei fosse verdadeira, a densidade de energia tenderia para infinito quando o comprimento de onda tendesse para zero. A vida na Terra seria impossível tal como a conhecemos se esta lei fosse válida: bastava olhar para uma fogueira com brasas, ou apanhar um pouco de sol na praia, para imediatamente nos desfazermos...!



Figura 3 - A lei de Rayleigh-Jeans e a lei experimental.

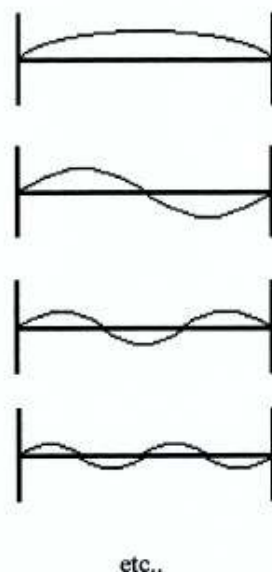
A esta contradição com os factos experimentais foi atribuído o nome irónico de "catástrofe ultravioleta".

Houve tentativas para tentar justificar o fracasso da fórmula de Rayleigh-Jeans, mas nenhuma delas convenceu os físicos da altura.

Comentário à Dedução da Lei de Rayleigh-Jeans

Todos os físicos da altura tiveram a impressão que a lei de Rayleigh-Jeans estava bem deduzida, tinha até um apoio teórico que outras leis válidas conhecidas na altura talvez não tivessem. Será então bom voltar a examinar o que é que Rayleigh e Jeans fizeram e tentar perceber porque é que a sua lei não funcionava.

Na dedução da lei foi usada a física estatística para as ondas, com analogia à lei de Maxwell para as partículas de um gás. Mas há uma grande diferença entre os dois casos. É que para as ondas não há limite para o número de modos de vibração que podem ser excitados:



e cada um destes modos corresponde a um grau de liberdade do sistema.

⁽¹⁾ A lei do deslocamento de Wien diz que a distribuição espectral da densidade de energia

é dada por uma equação da forma $u(\lambda) = \frac{A}{\lambda^5} F(\lambda T)$. Esta lei é demonstrável tratando a radiação como uma máquina termodinâmica. Através apenas de métodos termodinâmicos não se consegue achar a função F. (A representa uma constante.)

Wien deu, além da sua lei do deslocamento, outra contribuição importante para o estudo do corpo negro. Através de hipóteses hoje consideradas mal fundamentadas chegou à seguinte lei de distribuição, que se revela altamente concordante com resultados experimentais relativos a pequenos comprimento de onda:

$$u(\lambda) = \frac{A}{\lambda^5} e^{c/\lambda T}$$

Lembremos agora o teorema da equipartição da energia de Boltzmann: "A energia de um sistema está, na situação de equilíbrio térmico, partilhada igualmente entre todos os graus de liberdade."

Consequentemente, e visto que no sistema composto pelas radiações electromagnéticas há infinitos graus de liberdade, temos, a partir do teorema da equipartição da energia, que o total da energia é ilimitado. Como, dado um comprimento de onda, existem infinitos graus de liberdade cujos modos de vibração têm um comprimento de onda inferior, temos que a densidade de energia tende para infinito quando o comprimento de onda tende para zero. É exactamente isto que se verifica na lei de Rayleigh-Jeans.

A Resolução do Problema por Max Planck

A história de Planck começa no Departamento de Física do Instituto de Física de Kaiser Wilhelm em Berlim. Ele tinha à sua disposição um conjunto de dados experimentais que não eram aceites por nenhuma teoria física da altura. O sonho de qualquer físico teórico é estar nessa situação e conseguir resolver o problema. Max Planck resolveu o problema.

Em Outubro de 1900 Planck apresentou uma lei que se ajustava extremamente bem às experiências da altura:

$$u(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1}$$

c_1 e c_2 são constantes para ajustar a lei aos dados teóricos.

O problema é que era apenas uma interpolação inteligente da lei de Rayleigh-Jeans e da lei de Wien. As semanas seguintes foram provavelmente as mais intensas da sua vida, procurou febrilmente uma dedução com sentido físico para a sua lei. Após semanas de trabalho Planck percebeu que não conseguiria encontrar a solução a não ser que sacrificasse radicalmente o modo de conceber o mundo físico...

No dia 14 de Dezembro Planck apresentou a demonstração da sua lei, que tinha apenas uma constante, h (a mesma para todos os casos):

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Mas, para chegar a este resultado, teve de postular que o corpo negro só pode emitir e absorver energia em quantidades descontínuas, *quanta* de energia de grandeza $h\nu$.

Era uma hipótese radicalmente oposta aos conhecimentos da altura, que quase ninguém admitiu. O próprio Planck procurou durante anos uma maneira de chegar à mesma lei sem ter de partir do pressuposto tão bizarro na altura. Mas não conseguiu. A sua lei estava mesmo certa. A fórmula de Planck é hoje aceite como algo universal. Ainda há pouco

tempo, em 1990, fizeram-se medidas com o satélite COBE da radiação de fundo do universo, e esta radiação tem um ajuste perfeito à lei da radiação do corpo negro.

Uma última observação à lei de Planck: se a considerarmos para frequências muito altas, encontramos a lei de Wien. Se fizermos, para baixas frequências, a decomposição da exponencial em série, obtemos uma série cujo primeiro termo é a lei de Rayleigh-Jeans. Se fizermos $h = 0$ a lei de Planck identifica-se com a lei de Rayleigh-Jeans, e não poderíamos sequer apanhar um pouco de sol sem nos desfazermos completamente.

*$h = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 662\ 62\ Js$,
pequeno, mas diferente de zero.*

*Como são importantes as
pequenas coisas da vida!*

Referências Bibliográficas

Born, M., *Física Atómica*, 4.^a ed., Fundação Calouste Gulbenkian.

Bruhat, G., *Thermodynamique*, Cours de Physique Général, 5.^a ed., Masson & Cie Éditeurs, Paris, 1962.

McEvoy, J.P., Zarate, O., *Quantum Theory for Beginners*, Icon Books, Ltd., Cambridge, 1996.

ENCONTRO DE BIODINÂMICA

Nuno Pereira da Cruz e Rui Carlos Sá

Nos passados dias 24, 25 e 26 de Março a cidade de Albufeira acolheu o Quinto Encontro Internacional sobre BIODINÂMICA, decorrido no edifício principal do Inatel, sob os auspícios do Centro da Performance Humana (CPH) e conduzido pelo presidente da Comissão Científica, Dr. Nuno Castelo Branco.

ACPH é uma associação sem fins lucrativos, dedicada à investigação em Medicina Ocupacional e que realiza encontros internacionais deste teor desde 1986, onde resultados de investigações são apresentados e discutidos e futuros projectos são delineados. Entre outros projectos o CPH dedica-se ao estudo do síndrome vibro-acústico (VAS), uma patologia associada à exposição a ruído de baixa frequência (inferior a 500 Hz) e de elevada amplitude (mais do que 90 dB). As investigações realizadas sugerem que o síndrome vibro-acústico pode manifestar-se de muitas maneiras, que variam desde alterações estruturais no

coração a perdas de equilíbrio.

O encontro desenvolveu-se em três fases:

- "Breve Curso sobre Selecção de Pessoal para Ambientes Extremos de Trabalho" - estudou-se este assunto na generalidade e, mais particularmente, os aspectos psicobiológicos relacionados com trabalhos de turnos da noite ou turnos variáveis, com a selecção de pilotos aviadores e com a vida no espaço;

- "III Curso de Neurofisiologia" - contando este com diversas intervenções de cientistas portugueses, estudaram-se os potenciais evocados e disfunções de origem neurológica, como a epilepsia, e outras relacionadas com o síndrome vibro-acústico; foram ainda apresentados resultados sobre a localização do dipolo profundo;

- "Seminário Científico" - subordinado ao tema "O efeito do ruído de baixa frequência nos postos de trabalho - o síndrome vibro-acústico", dividido em diversas sessões, foram apresentadas

conclusões dos estudos efectuados, novos modelos científicos e novos problemas a ser estudados futuramente, tendo todas as sessões no final um "fogo cruzado" aberto a todos os participantes.

De entre as inúmeras presenças de relevo, realçamos a do professor Oleg Atkov, cosmonauta Russo que conta no seu currículo com duas missões espaciais de longa duração, uma a bordo de uma missão Salyut e outra a bordo da estação espacial MIR, totalizando aproximadamente oito meses no espaço. O professor Atkov apresentou o método de selecção de cosmonautas para o programa espacial Russo, e relatou consequências fisiológicas da exposição à microgravidade na área em que é especialista: o sistema cardiovascular.

A interdisciplinaridade da discussão ajudou a lançar pistas importantes sobre os caminhos a seguir. Um desses caminhos, sem dúvida aquele em que um estudante de Física se sente mais confortável, passará por modelar matematicamente o sistema em estudo.

Instantâneos

Fontes:

AIP - American Institute of Physics
N - Nature
S - Science
PhW - Physics World
EA - EurekaAlert

por José Barros e João P. Graciano

Em Washington ambientalistas planeiam apelar ao tribunal para bloquear a construção do edifício que albergará o projecto de Ignição Nacional (NIF), alegando que não se procuraram alternativas para evitar a necessidade das experiências programadas, que consistem em bombardear Deutério-Trítio com feixes laser. Os resultados destinam-se a aplicar a armas nucleares. (N, Abr97, 427)

O NCSA (National Center for Supercomputing Applications) disponibilizou supercomputadores para o estudo da Teoria da Relatividade Geral. Existe mesmo um *site* onde é possível 'puxar' simulações várias (choque de dois buracos negros (~12MB) entre outras). Os ficheiros são grandes mas valem a espera. O endereço é <http://jean-luc.ncsa.uiuc.edu/>.

A sonda Galileu revelou a existência de icebergues e oceanos na lua Europa, de Júpiter. Os cientistas acreditam que os icebergues flutuam num oceano mantido parcialmente líquido pelas forças (pelo menos) das marés devidas a Júpiter ou pelo calor devido à radioactividade interna. (AIP, 10/4/97, 316)

Foram produzidos pela primeira vez fonões "em lata" ("*squeezed phonons*"), permitindo reduzir temporariamente as incertezas nas posições dos átomos num cristal. Classicamente, os átomos num cristal são como que pequenas bolas que vibram em torno da sua posição de equilíbrio. A descrição mecanico-quântica destas vibrações é dada em termos de partículas, chamadas fonões, com uma energia vibracional quantificada. Com os fonões "enlatados" reduzem-se as incertezas das posições ao custo de um aumento da incerteza sobre os momentos de cada átomo. (S, 14/03/97; AIP, 10/4/97, 316)

SEMINÁRIOS

SEMINÁRIOS DO GoLP

Segunda-Feira, 19 Maio

"Dusty Molecule: remember, you heard it here first!"

David P. Resendes
(DFIST/GoLP)

Segunda-Feira, 26 Maio

"Landau Electron in a quantified electromagnetic field: quantum entropy and entanglement"

Ana M. Martins
(DFIST/GoLP)

Segunda-Feira, 2 Junho

"Equivalent Charge of a Laser Pulse in a Plasma"

J. Tito Mendonça
(DFIST/GoLP)

Segunda-Feira, 9 Junho

"Three Dimensional Characterization of High Density Non-Cylindrical Pulsed Gas Jets for Laser Plasma Interaction"

Madalena Eloy
(GoLP)

Todos os seminários se realizam na Biblioteca do Centro de Física de Plasmas (Complexo Interdisciplinar) às 15 horas.

O GoLP/Grupo de Lasers e Plasmas organiza semanalmente seminários sobre temas que incidem sobre a actividade do grupo: interacção laser-plasma, lasers intensos, sistemas dinâmicos, óptica quântica, diagnósticos ópticos, plasmas coloidais.

SEMINÁRIOS DO LIP

Terça-feira, 20 de Maio às 11h30,
na sala de seminários do LIP

" THE MOST ENERGETIC PARTICLES IN THE UNIVERSE"

Enrique Zas
(Universidade de Santiago de Compostela)

Quinta-feira, 22 de Maio às 11h30,
na sala de seminários do LIP

" ALTERNATIVES IN HIGH ENERGY NEUTRINO DETECTION "

SEMINÁRIOS

SEMINÁRIOS DO CFIF

Terça-feira, 20 de Maio

**"Signatures of baryon non-conserving Yukawa couplings
in SUSY theory"**

Mar Bastero-Gil

Terça-feira, 27 de Maio

"Non perturbative solutions of field theory"

*John A. Tjon
(University of Utrecht)*

Terça-feira, 3 de Junho

Título a anunciar

Adam Szczepaniak

**Local: Sala P4 às 14h 15m
Edifício Pós-Graduação**

SEMINÁRIOS DO NFIST

Quinta-feira, 15 de Maio, às 15h e Sexta-feira, 16 de Maio, às 16h

**"Sobre espécies de estruturas com morfismos
e a violação de simetria de escalamento por estes determinada"**

Luís Calvão Borges

Palavras chave:

Sistemas complexos. Ruído 1/f.
Espécies de estrutura.
Invariância de escala.
Espaços ultramétricos. $GL(p-2, Z_p)$.

Sala P4, Edifício Pós-Graduação.

"NEURAL NETWORKS AND MODELING DREAM SLEEP"

*A. PLAKHOV
Moscow Technical University*

«The problems of learning and retrieval of information in the Hopfield neural network will be addressed. In particular, it will be discussed an application of the neural network theory to the modelling of REM sleep processes in the human brain».

Quarta-feira, 14 de Maio, 14h30m

Sala de Seminários do Dep. Física

"Apresentação de Projectos de Final de Curso ou Variações em torno do Projecto"

Oradores: alguns alunos finalistas dispostos a partilhar o que vão aprendendo...
Temas: variados (o mais possível!) **Data e Hora:** a anunciar. Está atento aos cartazes!

Nos próximos dias **5 e 6 de Junho** serão apresentados os trabalhos realizados no âmbito da cadeira de Biofísica. As apresentações serão às **16 horas em local a anunciar**. Todos os interessados estão convidados a assistir.

Instantâneos

Foi desenvolvido o primeiro diodo capaz de emitir luz de várias cores. É baseado numa tecnologia de polímeros semelhante ao plástico. É assim de esperar que o plástico deixe de ser apenas a face externa dos actuais aparelhos electrónicos tornando-se, no futuro, o coração da electrónica.
(EurekAlert, 16/04/97)

A violação de paridade foi observada pela primeira vez em transições entre estados nucleares. Mais tarde, verificou-se que certas transições em átomos também violavam a conservação da paridade. Agora, numa experiência na Universidade do Colorado não só se mediu este efeito em átomos de cézio com uma exactidão até hoje nunca atingida como também se observa, pela primeira vez, o momento anapolar para um núcleo. (S, 21/03/97; AIP, 28/03/97, 314)

A Texas Instruments desenvolveu um microespelho digital que consiste basicamente em centenas de espelhos de apenas 16 m cujos movimentos são independentes entre si. Cada *pixel* corresponde a um destes espelhos. Um sinal enviado a um eléctrodo faz o espelho virar-se para a frente ou para trás. Este sistema digital tipo "interruptor óptico" poderá melhorar projecções em grandes dimensões (em detrimento dos LCD). (PhW, Dez96; AIP, 8/1/97, 302)

Um novo laser atómico foi criado no MIT, prometendo melhoramentos significativos em medidas de alta precisão com átomos e lançando ideias de aplicações nanotecnológicas futuras, tal como a litografia atómica, na qual linhas são desenhadas em circuito integrados (por deposição directa de átomos) com uma precisão inatingível até hoje. (AIP, 27/01/97, 305)

O campo dos nanotubos de carbono deu um passo em frente com a recente obtenção de nanotubos de parede única. Nestes as funções de onda moleculares mantêm-se ao longo do fio, pelo que se comportam como 'fios quânticos'.
(N, Abr97, 474)

“A Natureza parece extrair vantagens das representações matemáticas simples das leis de simetria. Quando reflectimos sobre a elegância e a maravilhosa perfeição do raciocínio matemático envolvido e a comparamos com as consequências físicas, complexas e de grande alcance, sentimos sempre um profundo respeito pelo poder das leis de simetria.”

C.N. Yang

É crença de praticamente toda a comunidade de físicos que a Natureza se rege por leis simples e que a complexidade do momento é apenas um estado passageiro na procura de leis fundamentais que expliquem os fenómenos a um nível elementar. Esta crença, um acto de fé, é perfeitamente justificada quando, de tempos a tempos, a petulância do Homem, nos princípios básicos que enuncia, levanta um pouco mais do véu que cobre o rosto daquela que é a Mãe de todas as mães.

A contemplação destes Homens é no mínimo comparável a uma revelação divina. Como podem princípios tão simples estar na origem de fenómenos complexos e aparentemente diferentes? Este é o sentido da Unificação. A Natureza parece estruturalmente simples, mas revela-se subtil, e é neste binómio que reside a sua beleza e o encanto que lança sobre o Homem.

As ideias de simetria surgem naturalmente neste quadro traçado. Se um sistema apresenta uma simetria para uma dada transformação, então algo se manteve inalterado com essa transformação. Esta simetria origina assim uma entidade conservada e portando fundamental na Natureza.

As ideias de simetria sempre estiveram presentes nos actos de criação do Homem. Quer na sua verificação, quer na sua quebra deliberada. A Arquitectura, a Escultura, a Música e a Pintura são disso exemplos. A Física não fugiu à regra e já no século XIX empregava as ideias de simetria no estudo das várias espécies de cristais. Em Mecânica, a invariância, isto é, a simetria de translacção no espaço e no tempo e de rotação no espaço origina a conservação da quantidade de movimento, de energia e do momento angular respectivamente. Em Relatividade a equivalência entre observadores pode ser entendida matematicamente como o resultado da invariância das leis da Física sob rotações no espaço-tempo quadridimensional de Minkowski.

A simetria surge então quando nos interrogamos como é que medições feitas por observadores diferentes, em sistemas de coordenadas diferentes, se relacionam entre si. Mas as ideias de simetria, no formalismo da Teoria de Grupos, são ainda mais fecundas quando aplicadas a espaços internos e não ao espaço-tempo pois tornam-se muito úteis no estudo das partículas quânticas e das suas interações. São as Teorias denominadas de Gauge, que constituem os alicerces das modernas teorias físicas, as teorias de campo do Modelo Standard. Servem também de base de trabalho em teorias de unificação como o Modelo GWS (Glashow-Weinberg-Salam) que unifica a força electromagnética e a força fraca numa única dita electrofraca. E novos exercícios, ainda não provados experimentalmente, como a Supersimetria. Todas elas tendo por base um princípio simples, a invariância local de Gauge. Não deixa de ser surpreendente como um simples princípio tem, nas palavras de C.N. Yang, “consequências físicas,

complexas e de grande alcance”.

O presente artigo visa portanto uma introdução ao formalismo das teorias de Gauge. Será forçosamente uma introdução leve e simples, quer pela imposição de um primeiro artigo quer pelos conhecimentos do autor. Espero contudo saber transmitir com clareza as ideias chave que permitem aos físicos de hoje retirar de uma formulação lagrangeana, quase magicamente, a física das partículas e das suas interações. Caberá ao leitor julgar o resultado.

O artigo está dividido em três partes. A primeira trata da formulação lagrangeana da física, clássica e quântico-relativista. A segunda aborda o tema dos grupos contínuos, simetrias e leis de conservação. Por fim introduz-se a noção de invariância de Gauge local e obtém-se a física das interações entre partículas carregadas electricamente.

1. Formulação lagrangeana

No que se segue utilizarei a notação tensorial pois é a ferramenta matemática que melhor se adapta à matéria em causa porquanto a forma das equações tensoriais é independente do sistema de coordenadas em uso. Utilizarei índices latinos para as coordenadas espaciais (1,2,3) e índices gregos para as coordenadas espaço-temporais (0,1,2,3). Utilizarei ainda a

convenção $\partial \equiv \frac{\partial}{\partial x^\mu}$ e a convenção de Einstein sobre índices repetidos.

1.1. Caso clássico

No paradigma da Física Newtoniana a dinâmica de um sistema físico é regida pela famosa equação de Newton,

$\vec{F} = \frac{d}{dt} \vec{p}$. Para o estudo de um sistema físico necessitamos de resolver esta equação diferencial. Sabendo as posições iniciais

$\vec{r}_i(t=0)$ e velocidades iniciais $\vec{v}_i = \frac{d}{dt} \vec{r}_i(t=0)$ de cada partícula i do sistema podemos determinar o seu estado em qualquer instante futuro. É o determinismo clássico. As grandezas referidas não têm de ser expressas em coordenadas cartesianas. Dependendo das condições do problema, poderão ser feitas escolhas mais convenientes q_i e \dot{q}_i . São as coordenadas generalizadas.

Uma abordagem diferente do problema, de formalização mais elegante, consiste na formulação lagrangeana estudada em qualquer cadeira de Mecânica. Sabemos então que um sistema físico pode ser descrito por uma função lagrangeana, mais propriamente uma densidade lagrangeana, função das coordenadas generalizadas e do tempo, $\mathcal{L} = \mathcal{L}(q_i, \dot{q}_i, t)$, tal

que $L = \int d^3x \mathcal{L}(q_i, \dot{q}_i, t)$ (Lagrangiano). O princípio de acção mínima, ou princípio de Hamilton, diz-nos que o sistema evoluirá no tempo e no espaço no sentido de minimizar a acção definida por $S \equiv \int dt L = \int d^4x \mathcal{L}(q_i, \dot{q}_i, t)$.

$$\text{Ora, } \delta S = 0 \Rightarrow \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i} \right) = 0. \text{ Estas equações são}$$

conhecidas por equações de Euler-Lagrange e dão-nos as equações de movimento do nosso sistema. Esta formulação, mais genérica, pode ser estendida a qualquer teoria física.

1.2 Caso quântico-relativista

Quando passamos a uma abordagem quântica e relativista temos de ter presente dois aspectos importantes. O espaço e o tempo devem ser tratados da mesma forma nas equações, e o conceito de partícula material como uma entidade perfeitamente localizada no espaço deixa de fazer sentido. Temos de recorrer ao conceito de campo. O conceito de campo foi introduzido na Física, já no século passado, por Maxwell e Faraday aquando do estudo do electromagnetismo. Corresponde a uma função matemática que descreve uma grandeza física. Temos, por exemplo, campos escalares quando falamos em distribuições de temperatura e campos vectoriais quando falamos da distribuição de velocidades num fluido. Os campos podem inclusivamente interagir entre si. Gradientes de temperatura na atmosfera originam a movimentação de massas de ar.

A complementaridade da teoria quântica impede o conhecimento exacto das coordenadas de uma partícula e como tal apenas podemos determinar campos de distribuição de probabilidade Ψ , sendo as partículas vistas como os *quanta* desses campos. Os campos quânticos são então as entidades físicas fundamentais. Nas palavras de Einstein, “*Podemos assim encarar a matéria como sendo constituída por regiões do espaço onde o campo é particularmente intenso... neste novo tipo de física não existe lugar para campo e matéria, o campo é a única realidade.*”

Assim sendo, o lagrangeano da nossa teoria será agora função não das posições e das suas derivadas, mas sim dos campos quânticos associados às partículas e das suas derivadas.

$\mathcal{L} = \mathcal{L}(\Phi, \partial_\mu \Phi)$. As equações de Euler-Lagrange assumem

$$\text{agora a forma: } \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \Phi_i} - \partial_\mu \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu \Phi_i)} \right) = 0$$

Exemplo

Consideremos o lagrangeano de Dirac,

$\mathcal{L} = i\hbar c \bar{\Psi} \gamma^\mu \partial_\mu \Psi - mc^2 \bar{\Psi} \Psi$, que descreve fermiões, partículas de spin semi-inteiro, de que é constituída a matéria vulgar. Ψ representa o campo spinorial associado ao fermião. Corresponde a um vector coluna de 4 entradas, 2 para o fermião e duas para a sua antipartícula. A razão da duplicidade prende-se com o facto de podermos ter *spin up* e *spin down*. As matrizes γ são 4 matrizes 4×4 de quadrado unitário e traço nulo que obedecem à relação $\gamma^\mu \gamma^\nu + \gamma^\nu \gamma^\mu = 2g^{\mu\nu}$, onde $g^{\mu\nu}$ representa a métrica do espaço-tempo de Minkowski. Temos ainda a convenção $\bar{\Psi} \equiv \Psi^\dagger \gamma^0$.

Aplicando as equações de Euler-Lagrange a Ψ obtemos:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu \Psi)} = i\hbar c \bar{\Psi} \gamma^\mu ; \quad \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \Psi} = -mc^2 \bar{\Psi} \text{ pelo que}$$

ficamos com a equação $i\hbar \partial_\mu \bar{\Psi} \gamma^\mu + mc^2 \bar{\Psi} = 0$ que corresponde à equação de Dirac adjunta. Analogamente, aplicando as equações de Euler-Lagrange a $\bar{\Psi}$ obteríamos $(i\hbar \gamma^\mu \partial_\mu - mc) \Psi = 0$ que identificamos como sendo a equação de Dirac que descreve o electrão livre.

2. Grupos contínuos, simetrias e leis de conservação

2.1 Grupos contínuos

Como sabemos, um grupo é um conjunto de elementos

$G = \{a, b, c, d, \dots\}$ com uma lei de composição, \circ , que verifica os seguintes axiomas de grupo:

i) *Fecho*: $c = a \circ b \in G$ para quaisquer elementos $a, b \in G$

ii) *Associatividade*: $a \circ (b \circ c) = (a \circ b) \circ c$

iii) *Identidade*: Existe um único elemento e tal que $e \circ a = a \circ e = a$

iv) *Inverso*: Existe um único elemento a^{-1} para cada elemento a tal que $a^{-1} \circ a = a \circ a^{-1} = e$

Se a lei de composição for comutativa, i.e.

$a \circ b = b \circ a$, dizemos que o grupo é abeliano.

Como exemplo temos o caso do conjunto dos inteiros com a operação usual de adição.

Mas os elementos do grupo podem formar um espectro contínuo e a lei de composição pode ser tratada com as técnicas usuais da Análise Matemática. Por exemplo, consideremos o conjunto de todas as rotações de um sistema de coordenadas no plano. Podemos parametrizar um elemento do grupo por uma variável contínua, o ângulo de rotação. Temos assim o grupo de rotações a 2 dimensões que é um grupo abeliano. Podemos representar os elementos deste grupo por matrizes de rotação

do tipo $a(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}$. Como estas matrizes

são matrizes ortogonais ($aa^T = I$) chamamos a este grupo $O(2)$, grupo das matrizes ortogonais 2×2 . O grupo $SO(n)$ será um grupo especial, subgrupo de $O(n)$ (matrizes ortogonais $n \times n$), constituído pelas matrizes de determinante unitário.

Com especial interesse para a Física temos os grupos $U(n)$ formados pelo conjunto das matrizes $n \times n$ unitárias ($UU^\dagger = I$) com o produto de matrizes como lei de composição. Sendo matrizes unitárias, $\det U = e^{i\alpha}$. No caso especial de $\alpha = 0$ temos os grupos $SU(n)$.

Qualquer matriz U $n \times n$ unitária pode ser escrita em termos de uma matriz hermitica H na forma $U = e^{iH}$. Como $\det e^A = e^{\text{Tr } A}$ temos que no caso de $SU(n)$ $\text{Tr } H = 0$. Como existem $n^2 - 1$ matrizes $n \times n$ hermiticas com traço nulo, um elemento de $SU(n)$ pode ser escrito como

$U = \exp \left\{ i \sum_{a=1}^{n^2-1} \varepsilon_a J_a \right\}$ onde os elementos ε_a representam os parâmetros do grupo e os elementos J_a os geradores do grupo, que obedecem à relação de comutação $[J_a, J_b] = if_{ab}^c J_c$ conhecida como álgebra de Lie do grupo. Os reais f_{ab}^c denominam-se constantes de estrutura do grupo.

2.2 Simetrias e leis de conservação. Teorema de Noether

Como vimos, o nosso lagrangeano está definido como função dos campos Φ e das suas derivadas $\partial_\mu \Phi$. Os campos estão definidos para todos os pontos do espaço-tempo. Se for possível efectuar uma transformação infinitesimal nos campos, transformação de Gauge $\Phi \rightarrow \Phi' = \Phi + \delta\Phi$, a mesma em todos os pontos do espaço-tempo, de tal forma que \mathcal{L} se mantenha invariante, i.e. $\mathcal{L}(\Phi') = \mathcal{L}(\Phi)$, então dizemos que o sistema físico apresenta uma invariância global sob acção dessa transformação. Por exemplo, o lagrangeano de Dirac é claramente invariante sob acção de transformações globais do grupo $U(1)$ pois estas correspondem apenas à multiplicação do lagrangeano por um factor de fase $e^{i\theta}$ com θ constante em todo o espaço-tempo. Dizemos então que o lagrangeano de Dirac apresenta uma invariância sob acção de transformações globais de $U(1)$.

Como já tive oportunidade de frisar, a invariância sob acção de uma transformação implica a existência de uma entidade conservada. Foi a matemática Emmy Noether quem tornou matematicamente precisa esta relação entre simetria e leis de conservação. O Teorema de Noether afirma o seguinte:

A cada grupo de transformações contínuas que deixam invariante o lagrangeano corresponde uma lei de conservação. Dito de outra forma, a cada grupo de transformações contínuas que deixam invariante o lagrangeano corresponde uma corrente conservada. A

integração da componente 0 desta corrente sobre d^3x gera uma carga conservada.

Vejamos como isto se traduz matematicamente.

Temos um lagrangeano que é função do campo Φ e das suas derivadas $\partial_\mu \Phi$. Efectuemos uma transformação de Gauge sobre o campo, $\Phi \rightarrow \Phi + \delta\Phi$ com $\delta\Phi = i\varepsilon^a \Omega^a \Phi$ onde ε^a e Ω^a representam os parâmetros e geradores do grupo de transformações respectivamente. Vejamos o que acontece se impusermos a invariância do lagrangeano sob acção desta transformação de Gauge.

$$\delta\mathcal{L} = 0 \Rightarrow \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Phi} \delta\Phi + \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_\mu\Phi)} \delta(\partial_\mu\Phi) = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow i\varepsilon^a \left[\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Phi} - \partial_\mu \left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_\mu\Phi)} \right) \right] \Omega^a \Phi + i\varepsilon^a \partial_\mu \left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_\mu\Phi)} \Omega^a \Phi \right) = 0$$

O primeiro termo é identicamente nulo pelas equações de Euler-Lagrange. Segue-se que

$$\delta\mathcal{L} = 0 \Rightarrow \partial_\mu \left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_\mu\Phi)} \Omega^a \Phi \right) = 0. \text{ Se definirmos as}$$

correntes $J^{a\mu} \equiv \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial(\partial_\mu\Phi)} \Omega^a \Phi$ elas são conservadas, i.e.

$$\partial^\mu J_\mu^a = 0. \text{ Definindo as cargas } Q^a \equiv \int d^3x J_0^a \text{ temos que}$$

$$\text{elas são conservadas também, i.e. } \frac{dQ^a}{dt} = 0.$$

$$\frac{dQ^a}{dt} = \int d^3x \partial^0 J_0^a = \int d^3x [\partial^\mu J_\mu^a - \bar{\nabla} \cdot \vec{J}^a] = - \int d^3x \bar{\nabla} \cdot \vec{J}^a = 0$$

Até aqui vimos essencialmente duas questões fundamentais. Uma teoria física pode ser descrita por um lagrangeano sendo as suas equações obtidas através de um princípio de acção mínima. Uma simetria do sistema físico para uma dada transformação implica a conservação de uma grandeza física fundamental.

As transformações podem ser efectuadas no espaço-tempo, como por exemplo as translações que implicam a conservação do momento linear, ou tratar-se de transformações de Gauge, i.e. transformações nos campos associados às partículas que resultam da actuação de grupos sobre esses campos. Falamos assim de grupos de simetria. Em física lidamos com transformações unitárias e portanto têm particular interesse os grupos de simetria unitários.

As transformações de Gauge são denominadas globais se a transformação nos campos for a mesma em todos os pontos do

espaço-tempo, i.e. $\delta\Phi = i\varepsilon^a \Omega^a \Phi$. Mas podemos pensar que experimentalistas diferentes, em regiões do espaço-tempo diferentes, possam fazer escolhas diferentes das convenções e obter os mesmos resultados. Este princípio, conhecido por invariância de Gauge local está na base das teorias de Gauge, ou teorias de invariância padrão.

3. Invariância de Gauge local

Pretendemos então que o nosso lagrangeano seja invariante sob acção de transformações locais do tipo

$$\delta\Phi = i\varepsilon^a(x^\mu) \Omega^a \Phi.$$

Tentemos obter uma teoria que seja invariante sob acção

de transformações de Gauge locais do grupo $U(1)$,

$\Psi \mapsto \Psi' = e^{i\theta(x^\mu)} \Psi$ (1). Como vimos, o lagrangeano que descreve os constituintes da matéria é o lagrangeano de

Dirac, $\mathcal{L} = i\hbar c \bar{\Psi} \gamma^\mu \partial_\mu \Psi - mc^2 \bar{\Psi} \Psi$. Sob acção da transformação (1),

$$\mathcal{L}(\Psi', \partial_\mu \Psi') = i\hbar c \bar{\Psi}' \gamma^\mu \partial_\mu \Psi' - mc^2 \bar{\Psi}' \Psi'$$

$= \mathcal{L}(\Psi, \partial_\mu \Psi) - \hbar c (\partial_\mu \theta) \bar{\Psi} \gamma^\mu \Psi$ como o leitor poderá facilmente verificar. Convém, por uma questão de identificação dos termos finais, introduzir uma nova variável

definida por $\lambda(x^\mu) = -\frac{\hbar c}{q} \theta(x^\mu)$. Nesta nova variável,

$$\mathcal{L}(\Psi', \partial_\mu \Psi') = \mathcal{L}(\Psi, \partial_\mu \Psi) - q \bar{\Psi} \gamma^\mu \Psi \partial_\mu \lambda \quad (2).$$

Constatamos assim que o lagrangeano de Dirac livre não apresenta invariância de Gauge local sob acção da transformação (1). O problema prende-se com o facto de

$\partial_\mu \Psi$ não se transformar como Ψ , pois se assim fosse o lagrangeano seria claramente invariante. Podíamos redefinir a derivada, introduzindo uma derivada covariante, i.e. que se transformasse como os campos Ψ , recuperando assim a invariância. Mas existe outra forma, equivalente, de exemplificar o que pretendemos.

Para obrigar o lagrangeano a apresentar a invariância sob acção da transformação local (1) podemos adicionar-lhe um termo extra determinando a sua lei de transformação de modo a cancelar o termo adicional em (2), responsável pela invariância.

Tomemos

$$\mathcal{L} = (i\hbar c \bar{\Psi} \gamma^\mu \partial_\mu \Psi - mc^2 \bar{\Psi} \Psi) - q \bar{\Psi} \gamma^\mu \Psi A_\mu \quad (3), \text{ onde}$$

introduzimos o campo vectorial (spin 1) A_μ . Na nova variável, os campos transformam-se de acordo com

$$\Psi \mapsto \Psi' = e^{-i\frac{q}{\hbar c} \lambda(x^\mu)} \Psi. \text{ O leitor verificará facilmente que se } A_\mu \text{ se transformar de acordo com } A_\mu \mapsto A_\mu + \partial_\mu \lambda \quad (4)$$

então $\mathcal{L}(\Psi', \partial_\mu \Psi') = \mathcal{L}(\Psi, \partial_\mu \Psi)$ recuperando-se a invariância.

Mas surge um problema. Ao obrigarmos o lagrangeano de Dirac livre a admitir uma invariância para transformações de Gauge locais do tipo (1), fomos forçados a introduzir uma nova

partícula, de spin 1, descrita pelo campo A_μ . Ora esta partícula deve ter também um termo livre pelo que somos forçados a adicionar ao lagrangeano (3) o lagrangeano de Proca

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{16\pi} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} + \frac{1}{8\pi} \left(\frac{m_A c}{\hbar} \right)^2 A^\nu A_\nu \quad (5) \quad \text{com}$$

$F^{\mu\nu} \equiv \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu$, que descreve partículas vectoriais. Mas como A_μ se transforma de acordo com (4), o lagrangeano global só será invariante se o segundo termo em (5) se anular. A única forma de o anular é assumir que a massa da partícula que descreve é nula ($m_A = 0$). O lagrangeano final será então,

$$\mathcal{L} = (i\hbar c \bar{\Psi} \gamma^\mu \partial_\mu \Psi - mc^2 \bar{\Psi} \Psi) + (-q \bar{\Psi} \gamma^\mu \Psi A_\mu) + \left(-\frac{1}{16\pi} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} \right)$$

Se o lagrangeano apresenta uma invariância sob acção das transformações (1), então deverá haver uma carga conservada.

$$\text{Como vimos em 2.2, } J^{\alpha\mu} \equiv \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\mu \Phi)} \Omega^\alpha \Phi \text{ pelo que}$$

$$J^\mu = q \bar{\Psi} \gamma^\mu \Psi. \quad Q = \int d^3x \, q \bar{\Psi} \gamma^\mu \Psi = q \int d^3x \, \Psi^\dagger \Psi.$$

$\Psi^\dagger \Psi$ corresponde a uma densidade de probabilidade de localização da partícula pelo que podemos identificar Q com a carga eléctrica do fermião.

Recapitulando, a imposição da invariância do lagrangeano

de Dirac para transformações de Gauge locais do grupo $U(1)$ levou à introdução de um campo adicional A_μ que descreve partículas de spin 1. Este campo, denominado campo de Gauge, corresponde ao campo do fóton, responsável pela interacção electromagnética entre partículas carregadas electricamente. A teoria impõe uma massa nula para o fóton o que está de acordo com as determinações experimentais. Diz-nos também que a carga eléctrica é uma grandeza física fundamental que se conserva. A interacção entre as partículas carregadas pode ser obtida do estudo do segundo termo do lagrangeano completo (termo de interacção) o que nos permite escrever os diagramas de Feynman para QED. A aplicação das equações de Euler-Lagrange relativamente ao campo A_μ fornece-nos as equações para o campo electromagnético.

$$\frac{1}{16\pi} \partial_\nu F^{\mu\nu} = J^\mu \text{ (equações de Maxwell)}$$

Não deixa de ser surpreendente que toda esta física tenha sido obtida pela simples imposição de um princípio de simetria, a invariância de Gauge local.

Como vemos, o princípio de invariância de Gauge é bastante fecundo e muitos problemas foram aparentemente resolvidos com ele. A cromodinâmica quântica (QCD), teoria que descreve as interacções entre quarks, tem 8 campos de Gauge correspondentes aos 8 geradores do grupo $SU(3)$. O Z^0 , W^+ e W^- da interacção fraca são campos que correspondem aos geradores do grupo $SU(2)$. Estes grupos de simetria não são grupos abelianos e como tal estas teorias denominam-se teorias de Yang-Mills.

Neste quadro, o caminho da unificação pode ser entendido como uma busca de um grupo de simetria maior, que englobe os grupos das teorias já conhecidas como seus subgrupos. É uma nova forma de fazer física. O abandono do empirismo estrito. A este respeito, terminarei com as palavras de Einstein, "Se a base da física teórica não pode ser a inferência experimental, tendo de ser antes uma invenção livre, temos algum direito de esperar encontrar o caminho correcto? Além disso, será que esta abordagem correcta existe realmente ou apenas na nossa imaginação? A isto respondo, com toda a confiança, que, na minha opinião, o caminho correcto existe. Mais ainda, está ao nosso alcance descobri-lo."

Referências

- [1] Griffiths, D., *Introduction to elementary particles*, John Wiley & Sons, 1987.
- [2] Romão, J.C., *O modelo standard das interacções electrofracas*, IST, 1994.
- [3] Abbers, E.S., Lee, B.W., *Phys. Reports* 9C (1973) 1
- [4] Landau, L., Lifshitz, E., *Mecânica, Física Teórica*, Mir, 1978.
- [5] Cornwell, J.F., *Group theory in physics*, Academic Press.
- [6] Ramos, C., *Simetria, Grupos e Física*, PULSAR, nº5, 1996.
- [7] Pagels, H.R., *Simetria perfeita*, Gradiva, 1990.

Physis - Associação Portuguesa de Estudantes de Física

A Physis - Associação Portuguesa de Estudantes de Física, é uma associação que reúne estudantes universitários portugueses de Física e de outros cursos afins, tendo os seguintes objectivos:

1. Ser o ponto de encontro dos Estudantes de Física portugueses;
2. Representar os Estudantes de Física em Portugal e no estrangeiro, assim como zelar pelos seus interesses;
3. Promover a divulgação de eventos, o contacto e a troca de experiências entre estudantes de Física a nível nacional e internacional;
4. Promover a divulgação da Ciência em geral e da Física em particular;
5. Acompanhar o ensino de Física em Portugal, assim como a sua avaliação.

A Physis - Associação Portuguesa de Estudantes de Física, foi fundada em 17 de Dezembro de 1990 por um grupo de alunos da Licenciatura de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e da Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica do Instituto Superior Técnico.

Das actividades da Physis destacam-se:

- a organização da ICPS '92, VII. International Conference for Physics Students em Lisboa, com mais de 200 participantes, estudantes de Física de mais de 20 países e as presenças dos Professores Hubert Reeves e Jack Steinberger;

- a invenção do Circo da Física, que consiste numa série de experiências didácticas, cujo conjunto é pensado como um espectáculo que permite aos alunos observar ou sentir com as próprias mãos conceitos elementares e fundamentais da Física.

São objectivos da actual Direcção da Physis, eleita em 16 de Dezembro de 1995:

- dar um verdadeiro carácter nacional à Physis, que desde a sua fundação nunca o teve, criando uma delegação em cada Universidade Portuguesa onde existam

curso de Física. Este processo está já a decorrer;

- formalizar a candidatura a Comité Nacional da IAPS - International Association of Physics Students, depois de frutuosa contactos. Uma vez a Physis membro da IAPS, todos os seus sócios serão também sócios da IAPS;

- promover as actividades do Circo da Física a nível nacional com a ajuda das Delegações locais;

- recolher e divulgar todas as informações relevantes para Estudantes de Física.

Para te tornares sócio da Physis - Associação Portuguesa de Estudantes de Física, basta seres estudante de Licenciatura, Mestrado ou Doutoramento em Física, Engenharia Física ou noutra área afim e preencheres a ficha de sócio, sendo a inscrição gratuita. As fichas de sócio podem ser solicitadas e entregues directamente à Direcção ou a um dos delegados locais da Physis na tua universidade:

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra: Margarida Mendes;

Instituto Superior Técnico: NFIST - Núcleo de Física do IST;

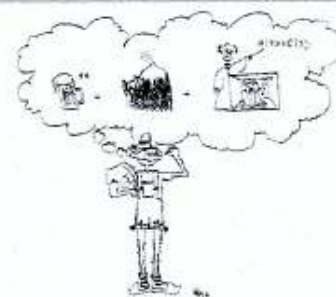
Universidade do Algarve: Dário Passos;

Direcção da Physis: Ariel Guerreiro, Rui Carlos Sá, Rui Faísca Pereira, Tiago Mota e Yasser Omar.

Podes também encontrar a ficha de sócio na página WWW da Physis, e enviá-la por correio devidamente preenchida e assinada por dois sócios proponentes da Physis ou juntando um documento comprovativo em como és estudante de Física.

PHYSIS - Associação Portuguesa de Estudantes de Física

Dpto. de Física - Instituto Superior Técnico
- Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa CODEX
Telefone: (01) 841 90 82 ♦ Fax: (01) 841 90 13 ♦ e-mail: physis@physis.pt ♦
URL: www.physis.pt



Queres ir a Viena?

A ICPS, International Conference for Physics Students, realiza-se este ano Viena, de 10 a 17 de Agosto.

Trata-se de uma **conferência internacional** organizada por e para **estudantes de física** que se realiza anualmente. Nela tens oportunidade de **contactar e conviver com colegas de outros países, apresentar e discutir trabalhos e experiências**, bem como acompanhar o **programa social** que, tradicionalmente, assume grande importância...

A Physis, Associação Portuguesa de Estudantes de Física, está a organizar uma **ida em grupo à ICPS 97** e a tentar arranjar **apoios financeiros** para a viagem. Se quiseres participar ou saber mais informações contacta:

joaojorge@fisica.ist.utl.pt
physis@physis.pt

A **inscrição na conferência** custa **190 DM** (cerca de 20.000\$00) e dá direito à participação na conferência e no programa social, assim como ao alojamento, pequeno-almoço e almoço durante a conferência.

Se quiseres efectuar a **pré-inscrição** (só o podes fazer até 31 de Maio) ou obter mais informações:

e-mail: [<icps97@tuwien.ac.at>](mailto:icps97@tuwien.ac.at)
URL:
[<http://www.tuwien.ac.at/icps97/>](http://www.tuwien.ac.at/icps97/)

NOTÍCIAS DA ASTRONOMIA

Era uma vez um cometa...

NFIST - Secção de Astronomia

A Secção de Astronomia do N.F.I.S.T. entrou em 1997 cheia de vontade de divulgar a sua razão de existir por terras do I.S.T. e, em especial, pelo clã de Física.

Assim, para dar o mote, organizou uma sessão de observação, realizada no dia 5 de Abril, na Serra da Arrábida. O evento contou com a participação de aproximadamente 60 pessoas, cerca de 50 provenientes do Técnico (incluindo professores, alunos de várias Licenciaturas e de Mestrado) e as restantes da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova que também conta com Núcleo de Astronomia. O objectivo principal da saída de campo era a observação do Hale-Bopp mas a má disposição do S. Pedro impediu-nos de ver os 39 infelizes agarrados à cauda do cometa... No entanto, foi possível aproveitar as abertas no manto nebuloso que cobria a Arrábida para observar alguns corpos celestes de interesse, nomeadamente o par Alcor-Mizar (na Ursa Maior) e o planeta Marte. O telescópio que nos foi gentilmente cedido pela empresa Tecnodidáctica serviu também para ver o Palácio da Pena, a Basílica da Estrela e o Terreiro do Paço ampliados 54 vezes e de "pernas p'ró ar". Os participantes estiveram sempre divertidos e mostraram-se muito interessados em aprender coisas novas sobre as lides astronómicas. Em resumo, foi uma noite bem passada!

Prometemos, desde já, repetir actividades semelhantes no futuro. Mantem-te atento...

Projectos...

Por falar em actividades, a Secção de Astronomia tem bastantes projectos para

1997. Organizar visitas de estudo a observatórios, planetários, museus e centros de investigação no âmbito da Astronomia e promover saídas de campo para observação encontram-se entre os nossos principais objectivos. Pretendemos também realizar, em colaboração com a Secção de Informação, seminários relacionados com Astronomia, Astrofísica e Cosmologia, direccionados a todos os alunos da LEFT.

Não escondemos, porém, que a nossa principal meta para 1997 é a aquisição de um telescópio reflector motorizado. Assim, estamos a desenvolver estratégias para a obtenção de subsídios (e eventuais patrocínios) junto de diversas entidades para adquirir material de observação astronómica.

Reforçar a biblioteca básica de Astronomia (cartas celestes, guias do céu,

recolher toda a informação possível, em colaboração com a Secção de Informação).

Se for viável, haverá cooperação com o Circo da Física nas suas actividades, através da apresentação de simuladores da esfera celeste, "brinquedos" relacionados com a Astronomia (caso se adquira algum) ou complementando o "circo" com sessões de observação.

Recursos Humanos...

A concretização de todos os projectos anunciados requer a participação do maior número possível de interessados. Nesse contexto, a Secção de Astronomia procura novos colaboradores. Embora contemos já com cerca de 10 "astrófilos" assíduos (e outros tantos inscritos que

raramente vemos), gostaríamos de ver esse número aumentado.

Assim, se a Astronomia te interessa, aparece nas nossas reuniões e inscreve-te como colaborador. Para tal, basta seres sócio do N.F.I.S.T. e dirigires-te à Sala de Alunos para

preencher uma das fichas de inscrição que se encontram no cacifo especificamente destinado para o efeito.

Contamos contigo!

Não te esqueças de ir olhando para o céu, de vez em quando...

Saudações Astronómicas



livros científicos e/ou de divulgação) e manter a assinatura de revistas especializadas (em especial a *Sky&Telescope*) são também prioridades. O material já existente encontra-se à disposição de todos os interessados, na Sala de Alunos da LEFT.

Trataremos ainda de estabelecer contacto com centros de investigação com a finalidade de possibilitar aos alunos da LEFT a realização de estágios e projectos sobre temas ligados à Astronomia, Astrofísica e Cosmologia (e neste âmbito

A INVENCÍVEL ARMADA E A EVOLUÇÃO DA TERMODINÂMICA

Nuno L. B. Morais, 2º ano da LEFT

A HISTÓRIA:

Em 1588, Felipe II de Espanha ordena a saída do porto de Lisboa da Invencível Armada. Esta rumo em direcção às Ilhas Britânicas com o objectivo de invadir a Inglaterra. Moviam o monarca castelhano interesses económicos, princípios religiosos (Evangelização das Ilhas e vingança pelos padres católicos perseguidos em terras de Sua Majestade) e a defesa da sua própria frota, frequentemente atacada por piratas e corsários ingleses. Não obstante o poderio espanhol, os marinheiros ingleses foram superiores, sendo mais organizados, e, fazendo uso da rapidez das suas embarcações, a artilharia não deu tréguas durante nove dias, obrigando a Armada Invencível a regressar derrotada a casa, reduzida a menos de metade. Em 1604 foi assinada a paz.

Os cientistas britânicos foram decisivos na evolução da Termodinâmica. Nomes como Fahrenheit, Black, Boyle, Thompson, Davy e Watt são marcos ímpares na história científica. Não há notícias de trabalhos importantes em Termodinâmica por parte de investigadores espanhóis.

Surge assim uma questão pertinente: como teria evoluído a Termodinâmica se a Armada Invencível espanhola tivesse ganho a batalha do Canal e as Ilhas Britânicas tivessem sido invadidas?

CENÁRIOS POSSÍVEIS:

Ainda que os espanhóis invadissem a Inglaterra, ser-lhes-ia quase impossível manter o território visto que o contingente militar inglês era forte e o mar constituía uma barreira geográfica muito condicionante. Admitindo, no entanto, a persistência dos castelhanos em território britânico há um cenário que se afiguraria como muito provável e que teria consequências nefastas: o de uma longa e terrível guerra anglo-espanhola. A destruição e as consequências económicas, políticas e sociais seriam de tal ordem que não haveria condições, século e meio mais tarde, para se verificar a Revolução Industrial que tão preponderante papel teve na história da Termodinâmica, nomeadamente devido ao desenvolvimento da máquina a vapor.

Note-se que, num cenário de guerra, qualquer invenção inglesa seria encarada como tendo utilidade bélica e seria imediatamente aniquilada pelos espanhóis. Provavelmente nada se saberia sobre os trabalhos de calorimetria ingleses do século XVIII, James Watt seria um desconhecido e Sadi Carnot teria de empregar o seu tempo e o seu génio em ramos de investigação diferentes pois não conheceria a máquina a vapor.

As consequências de uma situação como a descrita para o estado actual da Termodinâmica e da ciência em geral são difíceis de prever mas podemos imaginar que viveríamos com algumas décadas de atraso tecnológico. Embora a História se tenha encarregado de mostrar que descobertas científicas podem ser feitas quase em simultâneo por dois ou três indivíduos que nem sequer se conhecem, o legado britânico foi de tal ordem que serviu mesmo de ponto de partida para as descobertas de físicos e químicos de outras nacionalidades pelo que, sem ele, verificar-se-ia um desfazamento quase secular que talvez só fosse atenuado por um trabalho calorimétrico básico mais intenso por parte dos melhores cientistas da Europa Mediterrânica. Galileu, Lavoisier, Laplace, Fourier, Carnot e outros génios estudaram o calor de forma intensiva e talvez corrigissem o cenário anteriormente pintado. Uma investigação paralela mais acelerada de alternativas como a electricidade (considerando o trabalho de Gray, inglês, não indispensável) poderia também ser um factor de recuperação. Quem sabe se não andaríamos hoje em automóveis eléctricos?

Haveria, no entanto, a possibilidade de todos os experimentalistas e investigadores ingleses serem estimulados a aplicar os seus conhecimentos no desenvolvimento de material bélico, quer no interesse da

resistência inglesa, quer traindo a pátria ao serviço do invasor. Nessa situação estaríamos actualmente num patamar tecnológico e científico semelhante mas com uma História Militar tristemente enriquecida. Note-se que em períodos de guerra é costume verificar-se grande evolução tecnológica (veja-se o exemplo da Física Nuclear ou dos meios de comunicação a grandes distâncias).

Um outro cenário (menos provável mas menos dantesco também) era o da tomada quase pacífica da Inglaterra. Nessa situação restaria saber se "nuestros hermanos" eliminariam tudo o que tivesse cunho britânico ou não. Tendo em conta que a invasão se dava no fim do século XVI e os primeiros trabalhos significativos de calorimetria datam do século XVIII, estou em crer que haveria tempo suficiente para o amainar de rivalidades e sedes de vingança e que os estudiosos ingleses teriam liberdade para investigar e desenvolver ao máximo as novas tecnologias. Penso também que os invasores procurariam tirar todo o tipo de benefícios das invenções e atribuiriam as novas descobertas a ilustres desconhecidos cientistas espanhóis. Ouviríamos hoje falar das fabulosas primeiras máquinas a vapor espanholas. Afinal, os nossos vizinhos continuam ainda hoje a proclamar Colombo como castelhano e a atribuir a Juan Sebastian Elcano o mérito da primeira viagem de circum-navegação terrestre que o nosso Magalhães não completou.

Não obstante todas estas especulações, a História é irreversível e é graças ao trabalho de inteligentes engenheiros ingleses que hoje disfrutamos de uma série de comodidades que nos parecem banais. Mas seria engraçado se ainda hoje cruzássemos oceanos em barcos à vela...

(Trabalho realizado em Janeiro de 1997 para a cadeira de Termodinâmica. A sua publicação foi sugerida pelo Professor Brotas)

O PULSAR tem o apoio da:



<http://www.physis.pt>

...Conto Interminável... (tomo IV)

Uma excursão de maviosas (será $v=f$?) donzelas e valentes mancebos decidiu embrenhar-se pelas matas da Serra das Arrábias em busca da LSNO (Luz da Salvação a Noroeste). Contudo, ao lá chegar deparou-se com uma figura disforme num leito de sangue coagulado. Após revistar a dita figura, um dos excursionistas revelou aquilo que parecia ser uma folha de couve fossilizada com dados pessoais gravados a ouro. Nuanito, um dos líderes do grupo e grande conhecedor de História Antiga apressou-se a tentar decifrar os dados registados. De tudo o que ele decifrou, apenas poderei revelar aos/as exmos/as leitores/as o nome - Gratus Arius Porius Terius Censurius Oius Pulsarius Bribius Golmérius Ictupâncius Radius - para manter pura a essência deste jornal. A filiação partidária do ente é, de longe, o dado mais propenso a manchar o bom nome deste jornal (ASER - Apple System's Ex-Rival). Dada a antiguidade evidente da figura de Gratus jazente e a inviabilidade da sua sobrevivência ao longo de milénios, alguns membros da excursão começaram a especular se não teria o

LSNO, na forma de "Vem-ET" (do inglês "Come-ET"), a transportar a dita figura ao longo dos tempos até os dias de hoje, mantendo-a viva no seu seio até a depositar nas Arrábias. Outros até consideraram a hipótese de esta carga mística (Gratus) ser o Salvador-ET do Circo ao qual eles pertenciam. Isto foi meio caminho andado para se denominar o LSNO de "TS - Transportador de Salvadores", por se pensar que a cada sociedade seria entregue um salvador, humilde servo do verdadeiro Salvador da Humanidade, Aquele que voltará no Apocalipse.

Nisto, Gratus saiu da sua hibernação milenar e, surpreendido com o ambiente em seu redor, de imediato perguntou:

- Será este o AnÉden [Anti-Éden] ? Com esta companhia em meu redor, como podia não ser?...

Nisto, um dos excursionistas replicou: Nós somos da Sucção de Gastronomia da Distrofia Trítia Gnoseológica do Profiujo Inferior Dérmico [ainda não acabei, não me levem ainda].

R P Magnet



"Dor"

Sou sensível por demais
E nem consigo esconder
As lágrimas do meu coração
Que não param de correr.

Mas não são lágrimas doces,
Têm o sal de ansiedade;
Escondem por trás de mentiras
A crueza da verdade.

Bate o meu peito tão forte!
Não deslindo o seu porquê...
Sinto o perfume da Morte:
- "Vens em busca de quê?"

Minhas palavras não saem
Mas minha mão vai escrevendo...
Tento assim diminuir
Aquilo que vou sofrendo!

Todos falam do Amor
Mas poucos sabem o que é...
É verdade, carinho, saudade,
Vida, tristeza e Fé!

Porventura será isso
Que me vai fazendo falta:
Não ter nenhuma Fé
Para consolar a alma...

Sou só no Mundo enorme...
E não sei como o explicar,
Mas das amarras que me prendem
Consigo-me sempre soltar.

Preferia não o fazer
Para tentar ser feliz...
Quero crescer ao contrário,
Voltar a ser petiz!

Turvam-se-me os olhos
Tremem as convicções
Cheira-me a terra queimada,
Guerras, Revoluções!

Queria ser o mais forte,
Nunca ter de mudar...
Não ter alterações

Aquilo que um dia pensar...
Agora peguei na caneta,
Vejo-a correr no papel;
Mas a tinta que dela corre
Tem um sabor de fel.

Angústia, de onde vieste?
Não quero nem saber...
Volta pelo mesmo caminho!
Não me faças sofrer!

Algo está para passar;
O que irá acontecer?
Gostava de ver o tapete
Que o Destino está a tecer!

Apenas vislumbro cenas,
Que me deixam estonteado:
Voam pelo ar as penas
De um galo depenado...

Queria deitar para fora a
Aquilo que tenho engasgado;
Não consigo, falta-me o ar,
Estou-me a sentir sufocado!

Não tenho razões para isto...
Mas sinto-o... Eu sinto!
A minha mente a sofrer
E eu, (estulto), consinto.

Só falo de mim, não é?
Não saio desta ilha
Não tenho segredo, nem vida,
Nem uma maravilha!

Vou parar de escrever
E tentar dormir um pouco;
De tanto gritar sem som
Dói-me a garganta: estou rouco!

José Pedro G. G. de Araújo Pereira

*Se o esquecimento
não fosse o meu entretenimento
não sei o que seria,
o que faria.
É o meu alimento,
este tormento.
Mas tudo passa.
Tudo é momento.
E enquanto a gaivota esvoaça,
mais uma onda rebenta
e mais um momento, tormento e alimento
passou.*

André D.T. Mendes

THE LEFT LIFT



VOU TOMAR ESTE
ELEVADOR EM NOME
DO IMPERADOR



O CAMINHO DA
FORÇA É FORTE
NESTE DEPARTAMENTO



- BEM UMA AVALIAÇÃO EXTERNA
REVELA QUE ESTÁ TUDO BEM
EU DIRIA ATÉ EXCELENTE!



HA' QUE REVER O
METODO DE AVALIAÇÃO

HA' QUE TORNA-LA
MAIS INTERNA



OLÁ, EU SOU A BRUXA
TRAFUHA NÃO NEGUE A PARTIDA
UMA LOGICA DE ELEVADOR QUE
NÃO EXISTE!



HIGGS ESTÁS A OUVIR-ME?
RESPONDE-ME NÓS HIGGS
SE ESTÁS A OUVIR-ME?
ESTÁ AQUI ALGUÉM
QUE TE PROCURA HÁ MUITO!



NÃO DESEJERE
TENTE O MEU COLEIRA
DO PONTO DE ENCONTRO



SR. HENRIQUE PENTES
HÁ MUITOS GEV'S QUE EU
PROCURO O BOSÃO DE HIGGS!
QUERIA DAR-LHE UM
ABRAÇO



DEIXE VER SE EU
PERCEBI: O SR. PROCURA
O BOSÃO DE HIGGS HÁ
JÁ MUITOS GEV'S
POIS QUER ABRAÇA' LO



VAMOS VER O
QUE A EQUIPE DA
TIL DESCOBRIU...
(CONTINUA)