

NOVAS DESCOBERTAS EM FÍSICA DE PARTICULAS

Carlos Fiolhais

Professor do Departamento de Física da Universidade de Coimbra

Para se respeitar integralmente o título, não haveria muito a dizer, pois nos últimos três anos não ocorreu nenhuma descoberta experimental muito relevante no domínio da física de partículas. As partículas descobertas mais recentemente foram os bosões intermediários da interacção fraca, W^+ , W^- , Z^0 , no CERN em

1983, pela numerosa equipa chefiada por Carlo Rubbia, prémio Nobel da Física em 1984. De então para cá, se exceptuarmos algumas indicações preliminares, não-confirmadas, da detecção de um méson contendo o quark top, e anúncios, talvez precipitados, da possível descoberta de novas partículas relacionadas

com a supersimetria, nada mais há a assinalar. Entretanto, novos aceleradores foram sendo construídos e novos projectos de aceleradores gigantes ganharam consistência.

Vamos passar em revista em primeiro lugar a situação actual da física de partículas e ensaiar depois um prospectiva da sua evolução futura, tanto no domínio teórico como experimental. Como está relacionada com a construção de aceleradores cada vez mais potentes, dedicaremos especial atenção às grandes máquinas que estão a ser congeminaadas.

O mundo, tal como hoje o interpretamos, consiste de uma sucessão hierárquica de estruturas (galáxias, estrelas, átomos, núcleos, nucleões), constituindo os quarks e os leptões (electrões e neutrinos) o patamar mais baixo dessa hierarquia (Fig. 1). As forças responsáveis pela referida organização hierárquica têm características diferentes, conhecendo-se hoje quatro forças. Duas delas (electromagnética e fraca) estão unificadas numa mesma teoria e uma terceira (força forte) obedece a um esquema muito semelhante. A relação entre partículas e forças baseia-se no facto de que só certas partículas respondem a certas forças. As forças entre partículas de matéria são explicadas, no quadro de princípios de simetria local, pela troca de partículas de campo (bosões).

O edifício teórico em que assenta a física de partículas actual é o chamado modelo padrão (Fig. 2). Este modelo engloba a teoria de Weinberg-Salam para a força electrofraca e a cromodinâmica quântica (CDQ) para a força forte. Trata-se de um edifício muito bem estabelecido, não apenas pela descoberta dos bosões intermediários da interacção fraca com a energia prevista, como pelos vários tipos de confirmação experimental da CDQ, que se têm sucedido nos últimos anos. Qualquer futuro quadro explicativo das partículas elementares tem necessariamente de incluir o modelo padrão.

O passo seguinte a dar é evidente. Como as teorias das interacções electrofracas e fortes estão baseadas em conceitos de simetria local, o primeiro associado ao grupo $SU(2) \times U(1)$ e o segundo ao grupo $SU(3)$, põe-se a hipótese

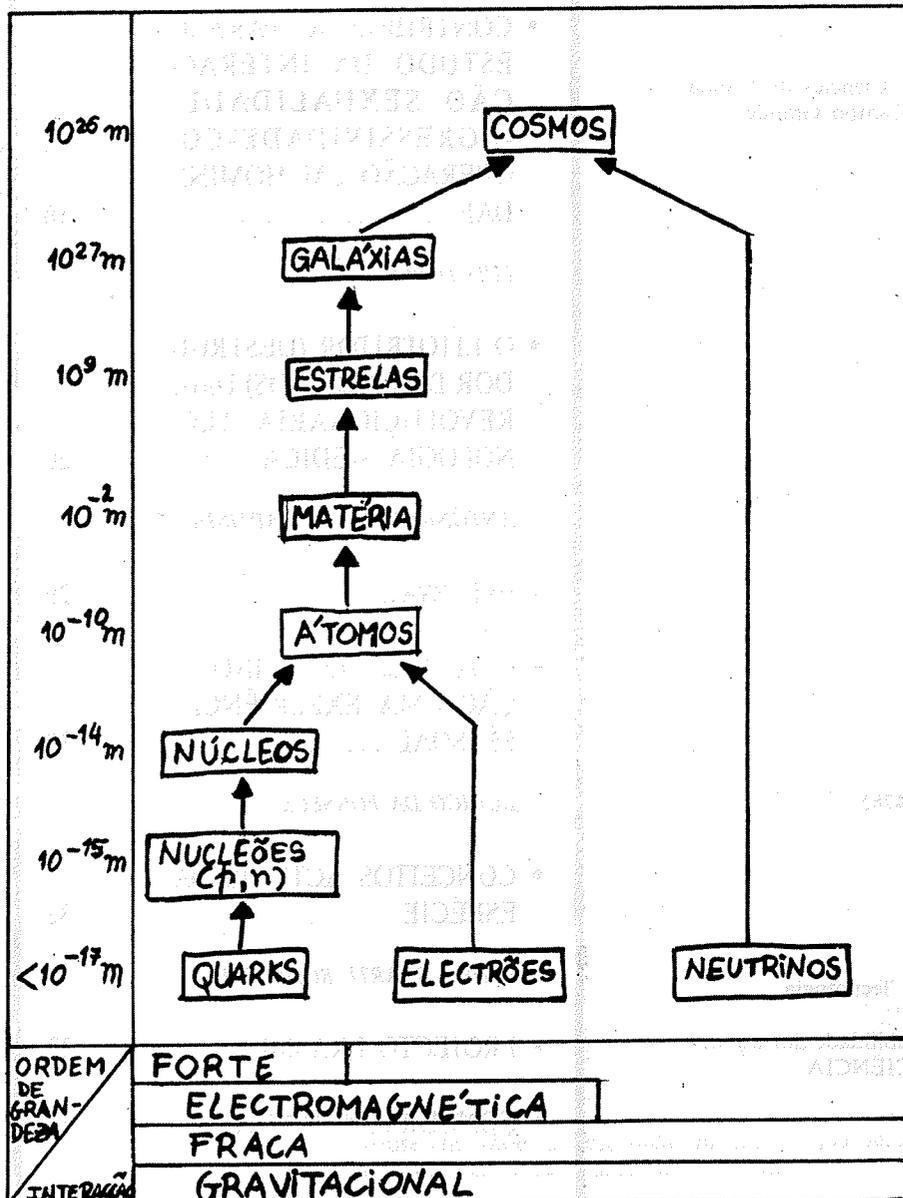


Fig. 1 — Estruturas e forças do Universo

INTERACÇÕES

TIPO	ALCANCE	POTÊNCIA A 10^{-13} CENTÍMETRO COMPARADA COM A FORÇA FORTE	PORTADOR	MASSA EM REPOUSO (GeV)	SPIN	CARGA ELÉCTRICA	OBSERVAÇÕES
GRAVÍTICA	INFINITO	10^{-38}	GRAVITÃO	0	2	0	CONJECTURADO
ELECTROMAGNÉTICA	INFINITO	10^{-2}	FOTÃO	0	1	0	OBSERVADO
FRACA	$< 10^{-16}$ CENTÍMETRO	10^{-13}	SECTOR FRACO BOSÕES: W + W - Z ⁰	81 81 93	1 1 1	+ 1 - 1 0	OBSERVADO OBSERVADO OBSERVADO
FORTE	$< 10^{-13}$ CENTÍMETRO	1	GLUÕES (8)	0	1	0	PERMANENTEMENTE CONFINADO

PARTÍCULAS

LEPTÕES			
NOME DA PARTÍCULA	SÍMBOLO	MASSA EM REPOUSO (MeV)	CARGA ELÉCTRICA
NEUTRINO ELECTRÓNICO ELECTRÃO	ν_e e^-	≈ 0 0,511	0 - 1
NEUTRINO MUÓNICO MUÃO	ν_μ μ^-	≈ 0 106,6	0 - 1
NEUTRINO TAU	ν_τ	< 164	0
TAU	τ^-	1784	- 1

QUARKS			
NOME DA PARTÍCULA	SÍMBOLO	MASSA EM REPOUSO (MeV)	CARGA ELÉCTRICA
"UP"	u	310	+ 2/3
"DOWN"	d	310	- 1/3
"CHARM"	c	1500	+ 2/3
"STRANGE"	s	505	- 1/3
"TOP/TRUTH"	t	22 500 (PARTÍCULA HIPOTÉTICA)	+ 2/3
"BOTTOM/BEAUTY"	b	≈ 5000	- 1/3

Fig. 2 — O modelo padrão

de haver um grupo de simetria mais vasto que admita como casos particulares os grupos SU(3) e SU(2) \times U(1). O grupo SU(5) é o candidato mais simples, mas a previsão do tempo de vida do protão efectuada por essa teoria de grande unificação revela-se definitivamente em desacordo (por um factor de 1000!) com a evidência experimental. Assim os teóricos têm proposto esquemas explicativos com base em simetrias mais gerais, como a supersimetria, a supergravidade ou as supercordas, que infelizmente não têm sido passíveis de verificação laboratorial, por falta de meios técnicos para obter as elevadas energias envolvidas. As teorias que incluem uma versão quântica da gravidade são convenientemente formuladas em hiperespaços, i. e. espaços com um número de dimensões elevado. Ora como vivemos num universo com 4 dimensões, forçoso é invocar um mecanismo que faça com que abaixo de uma certa energia algumas dessas dimensões apareçam escondidas. Essa energia corresponde à barreira da compactificação (a uma energia de cerca de 10^{18} GeV = 10^{15} TeV), que os físicos teóricos de partículas têm passado impunemente mas que os físicos experimentais vêem ainda como um objecto distante, senão mesmo impossível, limitados como estão pelos instrumentos que possuem. Verifica-se pois actualmente um grande hiato entre a teoria e a experiência que vai demorar ainda algum tempo a ser colmatado.

Mas voltemos ao modelo padrão. Quanto aos leptões, os físicos há já algum tempo que constataram que existem

partículas semelhantes ao electrão e ao neutrino, mas mais pesadas. Dizem então que as novas partículas têm sabores diferentes. É o caso do muão, que tem uma massa cem vezes superior à do electrão, mas que se lhe assemelha em tudo o resto. A força fraca é a responsável pela troca de sabores, e portanto pelo decaimento de um muão num electrão vulgar.

Também existem quarks com sabores adicionais, para além dos dois sabores úteis, designados por «up» e «down». Os sabores «estranheza» e «charm» foram os primeiros a ser propostos depois do «up» e «down». A força fraca faz com que, por exemplo, um «mesão charmoso» (i.e. com um quark com charm) possa decair em mesões normais (i.e. com quarks de sabores «up» e «down»). Por uma questão de simetria entre quarks e leptões, e uma vez que se conhecem seis sabores diferentes de leptões, julga-se que devam existir seis tipos de quarks. Conhecem-se cinco. O último (último?) tem já o nome de «top» («truth», para outros autores). Em 1984 surgiu na «Physics Letters B» um artigo de C. Rubbia e alguns seus colaboradores anunciando a descoberta de um mesão contendo um quark top. No entanto, não é hoje consenso na comunidade científica que os acontecimentos detectados tenham uma explicação inequívoca em termos do novo quark. C. Rubbia até já foi acusado até de manipular informação científica, com o fim de reclamar a prioridade de novas descobertas...

Existem seis sabores de quarks? Os físicos começam a estar convencidos que

sim. Com efeito, cálculos astrofísicos relativos à nucleossíntese primitiva indica que o número de espécies diferentes de neutrinos deve ser $N_\nu = 3 \pm 1$. Ora, conhecem-se já três, pelo que o seu número pode muito bem ficar por aqui... Os dados provenientes de aceleradores terrestres não são tão concludentes, indicando $N_\nu \leq 5$. No entanto, a futura entrada em funcionamento no CERN do LEP, uma verdadeira fábrica de bosões Z⁰, permitirá estudar exactamente o decaimento desta partícula, fornecendo assim indicações preciosas sobre o número de espécies diferentes de neutrinos. Esta será a primeira vez que se utiliza um acelerador para confirmar uma previsão de origem cosmológica.

As forças, como já se disse, explicam-se pela permuta de partículas de campo (bosões). As partículas de matéria mantêm-se ligadas pela troca de bosões tal como os jogadores de futebol se mantêm juntos pela troca da bola. No jogo electromagnético, só participam as partículas carregadas, sendo os neutrinos meros espectadores. O campo de troca neste caso pode até ser visível a nossos olhos: está quantificado, sendo a unidade mínima de energia o fotão ou «grão de luz». No jogo da força fraca, participam todas as partículas, sendo este jogo porém dificultado pela elevada massa das bolas: os bosões W[±] e Z⁰, que podemos chamar de «fracões», por serem os mediadores da interacção fraca. No jogo da cor, apenas participam os quarks, aparecendo estes equipados com camisolas de 3 cores diferentes. As equipas têm no seu con-

junto de ser brancas, i.e. um quark colorido nunca surge sózinho. As bolas do jogo são agora chamadas gluões, existindo oito variedades diferentes. Cada gluão transporta cor e, quando dois quarks permutam gluões, trocam entre si a cor das camisolas...

Finalmente, consideremos o jogo da gravidade. Se se confirmar que se trata de um jogo análogo, as bolas são partículas de spin 2, sem carga e sem massa (a ausência de carga e massa dificulta a sua detecção). Assim, a Lua manter-se-ia ligada a Terra por emissão e recolha dessas partículas, chamadas gravitões. Mas não há até agora evidência experimental para os gravitões (de resto, não há até agora qualquer necessidade experimental para a quantificação da gravidade).

Um dos problemas ainda em aberto do modelo padrão é a comprovação da existência de partículas de que ainda não falamos, chamadas partículas de Higgs, e cuja única utilidade é a de dar massa aos fracões. Numa teoria completamente unificada, a troca seria efectuada por um só tipo de partícula. Ora, o que acontece realmente é que a força electrofraca corresponde dois tipos de bosões bem distintos: os fotões, de massa nula, e os «fracões», cuja massa é da ordem de grandeza da centena de GeV. Qual é o mecanismo responsável por essa quebra de simetria? Os físicos invocam o fenómeno conhecido por «violação espontânea da simetria». Para ele ser possível, foi proposto um mecanismo especial, o mecanismo de Higgs, do nome do físico escocês P. Higgs. Os bosões de Higgs, que surgem associados à quebra de simetria do campo de Higgs, dão a energia aos «fracões» que ficam pesados. No entanto, isso não significa que os «Higgões» (partículas de Higgs) não possam existir como livres e não venham a ser detectados. Desconhece-se qual é exactamente a massa dos «Higgões», mas presume-se que ela seja da ordem de grandeza das energias disponíveis com os aceleradores que já existem ou que vão entrar em funcionamento num futuro próximo. Assim, a busca dessas partículas é uma tarefa prioritária da física de partículas experimental. A sua detecção permitiria consolidar o aspecto mais incerto do modelo padrão. Claro que pode acontecer que os «Higgões» não sejam partículas elementares. Tal hipótese é encarada na teoria de «technicolor», que é alternativa em alguns aspectos ao modelo padrão.

Dentro dos aspectos teóricos da física de partículas, a ideia que tem presidido aos últimos desenvolvimentos é a da unificação das forças da natureza. Este objectivo não é novo. M. Faraday, o grande físico experimental inglês do século XIX, que relacionou a electricidade com o magnetismo antes dos trabalhos teóricos de J. Maxwell, dizia já que existiam relações entre todas as forças naturais (Fig.

3). Consta até que nos últimos dias da sua vida se dedicou, embora sem êxito, a procurar uma conexão entre gravidade e electricidade, através de experiências de queda dos corpos nas proximidades de um circuito eléctrico... (Fig. 4).

O modelo teórico de unificação das forças hoje mais em voga surgiu, ou melhor renasceu, em 1984. É a chamada teoria das supercordas, que pretende ser uma teoria de tudo aquilo que existe ou possa vir a existir! A partir de um grupo inicial obtêm-se todas as forças conhecidas e ainda outras forças que se conjunturam, por meio de sucessivas quebras de simetria. A teoria das supercordas engloba uma teoria de supergravidade, i.e.

uma teoria quântica da gravidade, assim como a supersimetria, teoria segundo a qual as partículas de matéria (fermiões) e de campo (bosões) conhecidas teriam parceiros supersimétricos, que seriam respectivamente bosões e fermiões. No entanto, e apesar da popularidade das supercordas nos últimos tempos, essa teoria, altamente matemática, não se encontra totalmente isenta de ambiguidades. Mais ainda, a história da ciência ensina que é errado perseguir a ideia de uma teoria única, completa, explicativa de tudo. A natureza normalmente encarrega-se de fornecer surpresas. S. Glashow, prémio Nobel da Física em 1979, num artigo recente na «Physics Today», procu-

ON THE
Various Forces of Nature
AND THEIR
RELATIONS TO EACH OTHER

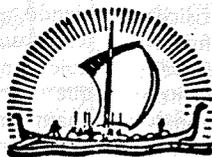
A COURSE OF LECTURES DELIVERED
BEFORE A JUVENILE AUDIENCE
AT THE ROYAL INSTITUTION

BY *Michael Faraday, D. C. L., F. R. S.*

EDITED, AND WITH A PREFACE AND NOTES,
BY *William Crookes, F. C. S.*

WITH A NEW INTRODUCTION
BY *Keith Gordon Irwin*

AND REPRODUCTIONS OF THE ORIGINAL
ILLUSTRATIONS



NEW YORK : THE VIKING PRESS

Fig. 3 — A obra em que Faraday relacionava as várias forças do Universo

PRIMEIRA TENTATIVA PARA UNIFICAR... ELECTRICIDADE & GRAVIDADE



Fig. 4 — Uma das primeiras experiências em que Faraday tentou a indução da electricidade por meio da aceleração dos corpos. Note-se o prematuro uso de uma corda.

rava desencorajar os físicos teóricos de partículas de se transferirem em massa para o estudo das supercordas. O seu argumento é simples: a escala de energias, para a qual em última análise as supercordas devem ser testadas, encontra-se muito distante das capacidades dos aceleradores existentes e até mesmo dos aceleradores que se prevêem até ao final do milénio (é difícil conjecturar como será a física de aceleradores no próximo milénio!) A supergravidade, para além da barreira de Planck ($E = 10^{15}$ TeV), permanece um objectivo longínquo, quicá inacessível. Por outro lado, quanto às novas partículas supersimétricas, desconhece-se qual é a sua massa exacta, embora se pense que possam vir a ser detectadas antes do final do século. Alguns acontecimentos monojecto observados recentemente no colisionador do CERN, nos quais a conservação da quantidade de movimento, parece ser violada, não conheceram confirmação posterior (Fig. 5).

Uma teoria como a das supercordas que se pretende física e que está de tal modo afastada da realidade experimental acessível pode até ser considerada, em certo sentido, perigosa. Isto porque, mais que uma teoria física, trata uma «filosofia física»...

Desçamos à terra e vejamos quais são os maiores aceleradores em todo o mundo e quais são os principais aceleradores em fase de construção ou de programa.

O acelerador mais potente a funcionar já não é o SPS do CERN, onde nos últimos tempos foram efectuados progressos importantes em física de partículas. Trata-se antes do chamado «TeVatrão» (Fig. 5) um anel de colisão no Fermilab (FNAL), perto de Chicago, onde já se fazem experiências de colisão de protões contra antiprotões a energias de 800 GeV (1,6 TeV no centro de massa), estando prevista a extensão para $1000 \text{ GeV} = 1 \text{ TeV}$. O SPS do CERN funciona ainda,

obtendo-se nele energias de 0,64 TeV no centro de massa (protões contra antiprotões a energias de 320 GeV). Recorde-se que a descoberta dos fracões, que proporcionou o prémio Nobel a Rubbia e a Van der Meer, foi realizada em 1983, quando as energias acessíveis eram apenas de 540 GeV no centro de massa. O SPS ficará por certo na história da Física, qualquer que seja a futura evolução da física de partículas!

Nos aceleradores de electrões, apenas se conseguem produzir choques a energias menos elevadas. Essa limitação prende-se com a massa do electrão, que é muito menor que a do protão, e com o facto de, a grandes energias, surgir o problema da radiação do sincrotão, devida à aceleração circular dos electrões (esta radiação pode ser útil do ponto de vista médico, prevendo-se mesmo a construção de um laboratório europeu de radiação do sincrotão em Trieste, Itália, mas é uma contrariedade para os projectistas de aceleradores). Pelo facto de os electrões serem partículas elementares, os colisionadores de electrões são muito mais apropriados para um fácil discernimento dos fenómenos físicos em jogo. Uma colisão num acelerador de protões já foi comparado à colisão de dois relógios suíços, em que se libertam todas as peças minúsculas, inicialmente confinadas nas caixas dos relógios. Pelo contrário, os choques num acelerador de electrões são muito mais «limpos» e inteligíveis.

O maior acelerador de electrões presentemente em funcionamento é o Tristão, no KEK, Japão, que atinge energias de 30 GeV para cada feixe de electrões e positrões. Muito em breve entra em funcionamento o SLC, no SLAC (Standord, Califórnia, EUA), que é um acelerador linear de 50 contra 50 GeV. O SLAC é um laboratório de grande tradição, tendo sido aí que em 1968 foram evidenciados experimentalmente os constituintes dos nucleões, na altura chamados «partões», mas mais tarde identificados com os quarks. Também foi no SLAC (ao mesmo tempo que em Brookhaven) que em 1974 se descobriu o mesão J/ψ , que é constituído por um quark com charm e pelo respectivo antiquark. Um acelerador de electrões que ficou importante na história da física de partículas foi o PETRA, no laboratório DESY, perto de Hamburgo, na RFA. Nele foi obtida confirmação experimental, embora indirecta, para os glúões. Essa confirmação encontrou-se nos chamados «acontecimentos Mercedes», detectados em 1979, e que consistem no aparecimento de três jactos de hadrões (partículas constituídas por quarks). Dois dos jactos surgem naturalmente a partir da criação de um par de um quark e de um antiquark. O terceiro explica-se pela emissão de glúões por parte de um dos quarks envolvidos, como efeito de travagem. O anel PETRA no DESY, onde se atingiram energias de

ACCELERADOR	GRUPO LABORATORIAL	PARTÍCULAS EM COLISÃO	ENERGIA (GeV)	PERÍMETRO	ENTRADA EM SERVIÇO
SPS	CERN (EUROPA)	$p + \bar{p}$	320 + 320	7 km	81
TEVATRON	FERMILAB (EUA)	$p + \bar{p}$	800 + 800 depois 1000 + 1000	7 km	86
TRISTAN	KEL (JAPÃO)	$e^- + e^+$	30 + 30	?	86
SLC	SIAC (EUA)	$e^- + e^+$	50 + 50	3 km de comprimento	87
LEP	CERN (EUROPA)	$e^- + e^+$	50 + 50 depois 100 + 100	27 km	89 (em construção)
					? (em projecto)
HERA	DESY (RFA)	$e^- + p$	30 + 820	7 km	90 (em construção)
UNK	SERPUKHOV (URSS)	p	3000	20 km	93 (em construção)
		$p + \bar{p}$	3000 + 400		? (em projecto)
LHC	CERN (EUROPA)	$p + \bar{p} + p + p$	9000 + 9000	27 km	? (em projecto)
SSC (DESERTRON)	(USA)	$p + \bar{p}$	20 000 + 20 000	100 km	? (em projecto)

Fig. 5 — Os maiores aceleradores do mundo

23 GeV por feixe, começou a ser desactivado e transformado pouco antes da entrada em funcionamento do Tristan em 1986. Tanto o Tristan como o Tevatrão, estão há pouco tempo em acção, não tendo ainda fornecido quaisquer indícios de novas partículas ou novos fenómenos físicos. Aguardemos pois os acontecimentos.

Quanto aos aceleradores do futuro, o projecto mais importante é sem dúvida o SSC, o Superanel de Colisão Supercondutor, também chamado «Desertão». Trata-se de um anel gigante, com cerca de 100 Km de perímetro, e onde se podem processar colisões de prótons com energias de 20 TeV contra antiprótons com a mesma energia. Este projecto norte-americano já foi aprovado nas primeiras instâncias governamentais, faltando apenas a decisão final do Presidente Reagan sobre a sua localização, que será anunciada no final de 1988. O projecto envolve uma verba da ordem de 4,4 biliões de dólares, cerca de 1/4 do dispêndio total do programa Apollo para a viagem a Lua. Vai ser o maior programa de investigação pura desde sempre (o que não significa, de resto, que não surjam produtos laterais de grande impacto tecnológico, tal como aconteceu com o projecto Apollo).

O maior projecto europeu está a concretizar-se no CERN, organização à qual Portugal pertence.

O LEP, cujo túnel de 30 Km de diâmetro se encontra em construção na fronteira franco-suíça, estará concluído em finais de 1988, no caso mais favorável. O projecto LEP, que inicialmente foi formulado para a descoberta dos bosões intermediários, ficou prejudicado com a detecção «precoce» destes. No entanto um acelerador de electrões de alta energia (numa segunda fase a energia em jogo será aumentada de 50 para 100 GeV em cada feixe) permite criar condições em muito maior número do que até aqui e estudar cuidadosamente os seus processos de decaimento. Prevê-se que seja pos-

sível também identificar inequivocamente mesões contendo o quark top. Máquinas como o Tristan japonês e o SLC ameri-

cano constituem, é certo, fortes rivais do LEP, mas o CERN já está a fazer planos para o futuro. Uma possibilidade em es-

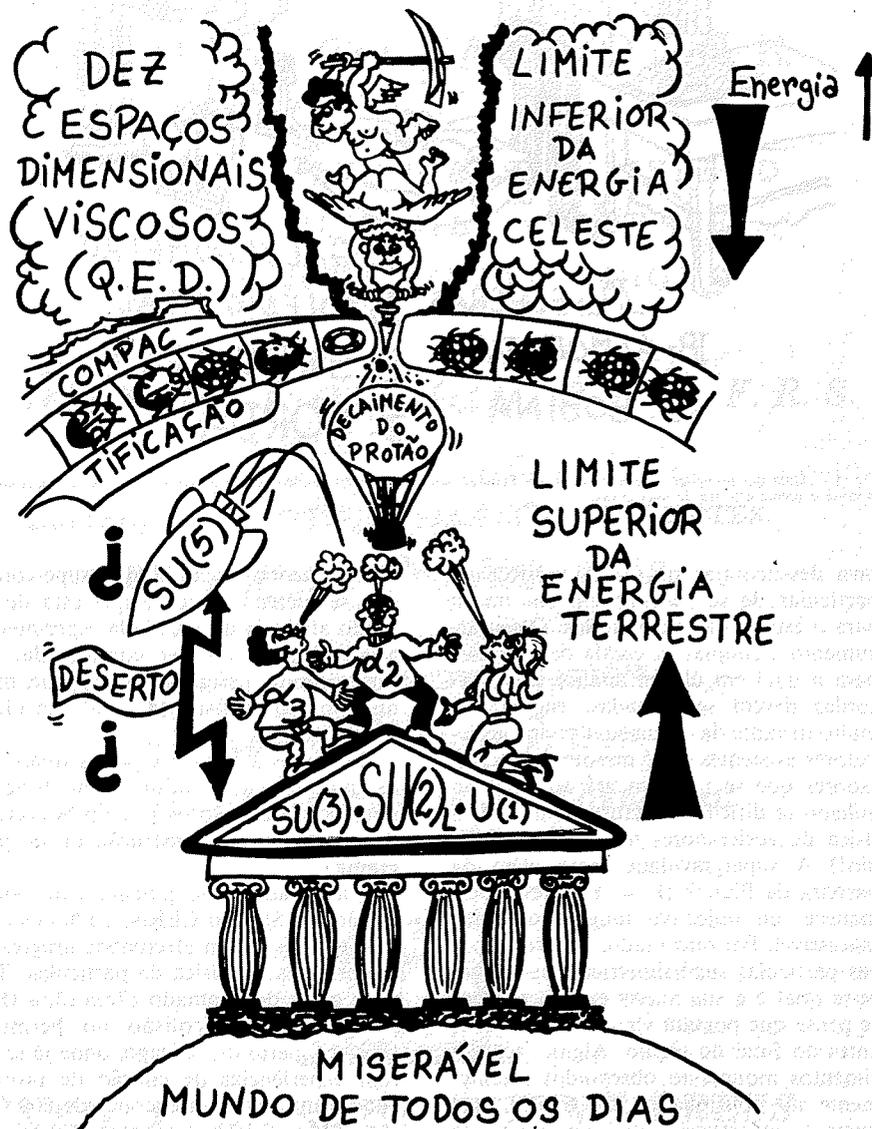


FIG. 6

tudo é a utilização do túnel do LEP para um colisionador de protões, que atinja energias de 9 TeV contra 9 TeV. O túnel do LEP já está quase construído, ao passo que o projecto do SSC ainda vai demorar a ser concretizado.

Deve ainda referir-se o colisionador HERA, no DESY, que será a maior máquina do mundo a lançar electrões contra protões, a partir de 1990. As energias envolvidas serão da ordem de 30 GeV (electrões) contra 820 GeV (protões).

Os soviéticos, por sua vez, também têm em construção, em Serpukhov, um acelerador de protões de 3000 GeV e não estão de modo algum fora da corrida. Pode conjecturar-se que os novos aceleradores do terceiro milénio serão pluricontinentais e não mais europeus, americanos ou soviéticos.

Finalmente, pretendemos resumir os grandes problemas actuais da física de partículas, tanto do ponto de vista teórico como experimental.

EXPERIÊNCIA:

Os dois primeiros tópicos serão do domínio dos novos aceleradores de electrões, como o SLC e o LEP:

1 — Encontrar o quark top com certeza absoluta. A sua massa deve andar entre 30 e 50 GeV.

2 — Estudo sistemático do decaimento dos «fracções» e do decaimento de mesões pesados que incluam quarks com os sabores mais raros — «top» e «bottom».

Os três pontos seguintes poderão vir a ser resolvidos, senão mesmo antes, pelo SSC, que deverá estar pronto cerca do ano de 1995.

3 — Encontrar o bosão ou bosões de Higgs e averiguar se ele é realmente elementar (a sua massa deve andar entre os 5 GeV e 1 TeV).

4 — Encontrar parceiros supersimétricos das partículas existentes.

5 — Averiguar se existem partículas mais elementares que os quarks e leptões (já se fazem especulações sobre partículas chamadas preões, que estariam subjacentes aos quarks).

As duas questões seguintes podem vir a ser respondidas no quadro da astrofísica.

6 — Qual é a massa do neutrino?
7 — Há mais famílias de partículas elementares?

É possível que os neutrinos constituam a matéria escura do universo. Um acontecimento cosmológico recente (Fevereiro de 1987) de muito interesse para a determinação da massas dos neutrinos foi a explosão de uma supernova, na Grande Nuvem de Magalhães. Com efeito, poucas horas antes da explosão ser visível opticamente, foram detectados simultaneamente em vários laboratórios subterrâneos espalhados pelo mundo neutrinos provenientes daquela galáxia. Ora a teoria da evolução estelar prevê a emissão de neutrinos anteriormente à explosão de uma supernova. O tempo de voo dos neutrinos depende obviamente da massa destes. Pode-se assim determinar a massa dos neutrinos. Os dados mais recentes parecem indicar que os neutrinos têm uma massa inferior a 15 eV (um grupo de Moscovo tinha previsto, com base do decaimento do trítio, uma massa do neutrino entre os 29 e 35 eV).

O último ponto envolve informação não proveniente de aceleradores.

8 — Qual é o tempo de vida do protão? As experiências nos grandes laboratórios subterrâneos do túnel do Monte Branco, dos Kolar Gold Fields na Índia, das minas metálicas perto de Tóquio e da mina de sal de Cleveland indicam que o seu tempo de vida é de pelo menos de 5×10^{32} ano (ordem de grandeza da idade do universo). Essas experiências vão prosseguir, porque o protão deve decaír,

qualquer que seja o esquema da unificação, que se realize na natureza.

O decaimento do protão é decerto um dos meios de ligar a «física da terra» e a «física do céu», i.e. a física da matéria à nossa volta com a física do universo primitivo (v. fig. 6)

TEORIA:

1 — Desenvolver e aplicar a teoria das supercordas e/ou outras de superunificação. Como ir além do modelo-padrão?

2 — Estudar o confinamento dos quarks usando teorias de gauge na rede. Esse estudo vai ser possível pelo desenvolvimento de supercomputadores especiais, com um grande número de processadores em paralelo, que permitam um tratamento rápido de uma grande quantidade de informação. Com efeito, o confinamento dos quarks é um postulado da CDQ que está relacionado com a existência apenas de objectos incolores. Esse postulado pode ser testado por experiências numéricas de simulação numa malha espacio-temporal. Nestas assim chamadas «teorias de gauge na rede» prevê-se o desconfinamento da matéria. Colisões nucleares a energia muito alta têm sido realizadas no CERN com o objectivo de obter o plasma de quarks e gluões e existem alguns sinais, ainda que preliminares, em abono do desconfinamento.

3 — Transições de fase no universo primitivo. O universo primitivo é o grande acelerador dos teóricos!

4 — etc. (na teoria há sempre um etc.)

Ficamos por aqui. Não vale a pena desenvolver demasiado a teoria, se a experiência marca passo. Nunca foi bom para a física, uma ciência experimental, que a teoria corresse muito à frente da experiência...

Lista de abreviaturas de laboratórios e aceleradores:

CERN — Centre Europeen de Recherche Nucleaire — Centro Europeu de Investigação Nuclear

DESY — Deutsches Elektron Synchrotron — Síncrotron alemão de electrões.

FNAL — Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab) — Laboratório Fermi do Acelerador Nacional

HERA — Hadron Elektron Ring Anlage — Anel de colisão de hadrões e electrões.

LEP — Large Electron Positron Collider — Grande colisionador de electrões e positrões

LHC — Large Hadron Collider — Grande Colisionador de Hadrões

PETRA — Positron Elektron Tandem Ring Anlage — Anel tandem de electrões e positrões.

SLAC — Stanford Linear Accelerator Center — Centro do Acelerador linear de Standford

SPS — Super Proton Synchrotron — Supersíncrotron de protões

SSC — Super Proton Synchrotron — Supercolisionador superconductor

SLC — Stanford Linear Collider — Colisionador linear de Standford.

Nota:

As figuras 4 e 6 foram retiradas de:

— A. de Rújula, «Snapshots of the 1985 high energy physics panorama», concluding talk at the High energy physics conference of the European Physical Society, Bari (Itália), Julho 1985 (Preprint CERN-TH 4267/85).