



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

**Departamentos de Física e de Química e Farmácia**

**A DESCOBERTA DO UNIVERSO – uma contribuição para o ensino de Física e Química**

**Cátia Cristina Gonçalves Cabrita**

**Relatório de atividade profissional para obtenção do grau de mestre**

**Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário**

**Trabalho efetuado sob a orientação de:**

**Professor Doutor Rui Manuel Farinha das Neves Guerra**

**2016**

## **A DESCOBERTA DO UNIVERSO – uma contribuição para o ensino de Física e Química**

### **Declaração de autoria de trabalho**

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

Cátia Cristina Gonçalves Cabrita

Faro, 26 de setembro 2016

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **Agradecimentos**

À minha família a quem devo o que sou hoje, ao meu orientador Professor Doutor Rui Manuel Farinha das Neves Guerra pela orientação e apoio incondicional nos vários momentos ao longo do meu trabalho e a todos os que me ajudaram na obtenção dos mais diversos materiais.

" O que hoje está provado foi outrora apenas imaginado". William Blake

## Resumo

O universo é um laboratório sempre aberto ao campo da atividade científica. A física, entre outras áreas afins, desempenha um papel crucial para a sua explicação.

É neste contexto que tento contribuir para uma reflexão sobre a necessidade da constante atualização dos professores para a lecionação das suas aulas e também sobre a importância do método experimental/atividade experimental no âmbito da disciplina de Física e Química, a fim de estimular a motivação dos jovens pelo mundo da ciência. Este relatório refere-se à minha atividade profissional e divide-se essencialmente em duas partes. Na primeira parte é feita uma descrição pormenorizada do meu percurso profissional assim como da formação adquirida até à presente data. E na segunda parte do relatório são abordadas algumas das teorias explicativas da origem do universo e da importância que a física experimental poderá ter para cativar os jovens para o mundo das ciências.

O relatório inclui ainda uma descrição do CERN no que diz respeito à sua origem, a sua história e uma explicação das experiências mais relevantes aí realizadas. No seguimento deste tema é definida uma estratégia para introduzir uma das experiências do CERN na lecionação do programa curricular do ensino secundário. A experiência escolhida prende-se com o facto da autora deste relatório se ter deslocado ao CERN, tendo oportunidade de a realizar nesse mesmo local. Apresenta-se ainda a descrição de um jogo, criado com o auxílio do software Scratch, alusivo ao tema (descoberta do universo) para implementar no ensino básico e secundário.

No contexto do desenvolvimento destas atividades será necessário explicar e explorar os conceitos de matéria, antimatéria, matéria escura, energia escura, buraco negro, multiverso(s), radiação, raios cósmicos e detetor de partículas.

Palavras-chave: método experimental, cosmologia, CERN, física de partículas e teoria da grande unificação.

## Abstract

The universe is an open laboratory to science. Physics, among other sciences, is critical to its explanation

It is in this context that I present my contribution to the reflection about the need that professors have of constant scientific update and the importance of the experimental method in the classroom of physics and chemistry to stimulate the youth to approach the world of science.

This report is composed of two parts. In the first part I present a detailed description of my professional career and my training received to date. The second part of the report addresses some of the theories that explain the origin of the universe and the importance that experimental physics may have in captivating young people to the world of science. The report includes also a description of the CERN: its origin, its history and an explanation of some of its relevant experiences. In this context I describe a strategy to introduce one of the CERN experiments in the curriculum of secondary school. The chosen experience relates to the fact that the author of this report has visited CERN, having the opportunity to perform it in the same location.

It also presents the description of a game, created with the software Scratch, aimed in the illustrations of the concepts associated with the discovery of the universe. This game may be implemented either in basic or secondary school.

Through the development and exploration of these activities, we will explain and explore the concepts of matter, antimatter, dark matter, dark energy, black hole, multiverse(s), radiation, cosmic rays and the particle detector.

Keywords: experimental method, cosmology, CERN, particle physics and Grand Unified Theory.

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	3
Resumo.....	4
Abstract.....	5
Índice.....	6
Nota introdutória .....	11
Parte I – Percurso Profissional e Formativo .....	12
1. Antes da Profissionalização.....	12
2. Após Profissionalização .....	17
Parte II – Panorama da Cosmologia Atual .....	24
3. Relevância e justificação do tema .....	24
4. Introdução .....	27
5. Modelo Padrão.....	28
6. Um Universo em expansão.....	30
7. A geometria do Universo.....	32
8. O Universo de Einstein.....	34
9. A origem do Universo – Teorias explicativas .....	38
9.1. A origem do Big Bang.....	38
9.2. Da época da Nucleossíntese Primordial à época da Recombinação.....	40
9.3. O modelo do Big Bang Quente.....	42
9.4. O modelo Inflacionário .....	43
9.4.1. A inflação e o problema do horizonte .....	48
9.4.2. A inflação e o problema da planura .....	49
10. Modelo Padrão e Bosão de Higgs .....	51
11. Buracos negros e Stephen Hawking .....	54
11.1. Buracos negros .....	54
11.2. Stephen Hawking.....	60
11.3. O Universo de Hawking .....	62
12. Os três grandes mistérios da cosmologia.....	68
12.1. Antimatéria .....	68
12.2. Matéria escura.....	72
12.3. Energia escura.....	75

13. Em busca da Teoria Final.....	77
13.1. A Unificação do Século XXI.....	77
13.2. Teoria das Cordas.....	80
13.3. Teoria das Supercordas.....	87
13.4. Teoria M.....	91
14. CERN (origem, história e experiências relevantes).....	96
14.1. Origem e história.....	96
14.2. Aceleradores e experiências relevantes.....	100
Parte III – Projetos de Ensino.....	117
15. Método Experimental .....	117
16. Implementação de estratégias no programa curricular .....	119
16.1. Atividade Experimental.....	121
16.1.1. Projeto Anual Proposto - Construção de um acelerador de partículas (maquete).....	125
16.1.2. Atividade Experimental- Construção de uma câmara de nuvens.....	130
16.2. Jogo TeenSpaceAdventure .....	139
Parte IV – Considerações Finais.....	140
Referências Bibliográficas.....	145
Referências Legislativas .....	153
APÊNDICES.....	154
Apêndice 1 - Regulamento do projeto “S`Cool Lab” .....	155
Apêndice 2- Diploma do jogo "Antimatter Academy" do CERNland.....	169
Apêndice 3- Certificado de participação do curso de formação “Escola de professores no Centro Europeu de Pesquisa Nuclear” no CERN .....	170

## Índice de figuras

Figura 1 - Medida da distância às estrelas próximas através de um ângulo de paralaxe	30
Figura 2- Curvatura do espaço a duas dimensões .....	32
Figura 3- As três curvaturas possíveis para o Universo .....	33
Figura 4 - Gráfico da temperatura do Universo em função do tempo .....	41
Figura 5 - Transição de fase do Universo.....	44
Figura 6 - Um campo de Higgs superarrefecido .....	46
Figura 7- Buraco negro .....	59
Figura 8- Stephen William Hawking .....	60

Figura 9 - Composição do Universo atual .....	74
Figura 10 - Vibração das cordas de um violino mediante padrões de ressonância .....	81
Figura 11- Os primeiros exemplos de padrões vibracionais de cordas .....	81
Figura 12 - Cordas a moverem-se num cilindro .....	84
Figura 13 – O superespelho.....	88
Figura 14 - Flutuações quânticas .....	89
Figura 15 - Sequências numerosas de pares de corda/anticorda .....	90
Figura 16 - Cinco teorias de cordas .....	91
Figura 17- Teoria M (unificação das cinco teorias das supercordas) .....	92
Figura 18 - Teoria M (engloba as cinco teorias de cordas, a supergravidade em onze dimensões e permite a combinação num formalismo unificado).....	94
Figura 19 - Gráfico da intensidade da força versus distância.....	94
Figura 20 - Descoberta de partículas W e Z .....	98
Figura 21 -Separação das quatro forças da natureza à medida que o universo arrefece	101
Figura 22- Grande acelerador de partículas (LHC).....	102
Figura 23- Complexo de aceleradores do CERN .....	103
Figura 24 – Poster com detetores de partículas do LHC.....	104
Figura 25 - Dispositivo Instrumental Toroidal para o LHC (ATLAS).....	105
Figura 26 - Experiência do Acelerador de Iões Pesados (ALICE).....	106
Figura 27 - Simulação de uma colisão de ião chumbo no detetor ALICE .....	107
Figura 28 - Solenóide compacto para muões (CMS).....	108
Figura 29 – Panfleto do grande acelerador de partículas elementares - quark b (LHC <sub>b</sub> )	109
Figura 30 - Diagrama “Pinguim” usado no LHC <sub>b</sub> .....	110
Figura 31 - Representação de “pentaquarks”.....	111
Figura 32 - Medição da secção transversal elástica e difrativa total (TOTEM).....	112
Figura 33 - Grande acelerador de partículas para a frente (LHC <sub>f</sub> ).....	113
Figura 34- Detetor de monopólo e partículas exóticas no LHC (MOEDAL).....	114
Figura 35 - Simulação de uma deteção do Bosão de Higgs no CMS.....	115
Figura 1P- Esquema da entrada de raios cósmicos na atmosfera terrestre, originando chuvarais de partículas.....	131
Figura 2P - A primeira câmara de nuvens feita por Charles Thomson Rees Wilson....	133
Figura 3P - Imagem da experiência “Cosmics Leaving Outdoor Droplets”(CLOUD)	133
Figura 4P - Esquema de montagem proposto.....	135

## **Lista de siglas**

ALICE - A Large Ion Collider Experiment (Experiência do Acelerador de Iões Pesados)

ATLAS - A Toroidal LHC ApparatuS (Dispositivo Instrumental Toroidal para o LHC)

CCP - Certificado de Competências Pedagógicas

CERN – European Laboratory for particle physics (Laboratório Europeu de Física das Partículas)

CLOUD- Cosmics Leaving Outdoor Droplets (Raios Cósmicos deixando gotículas ao ar livre)

CMS- Compact Muon Solenoid (Solenóide compacto para muões)

EFA- TAE - Educação e Formação de Adultos de Técnicos de Ação Educativa

EFA- PAD - Educação e Formação de Adultos de Práticas Educativas

GUT ou as GUTs- Grand Unified Theory (teoria da grande unificação)

LHC - Large Hadron Collider (Acelerador de Hadrões Pesados)

LEP - Large Electron-Positron collider (grande acelerador electrão-positrão)

LEIR- Low Energy Ion Ring (anel para iões de baixa energia)

LINAC - Linear Particle Accelerator (Acelerador Linear de Partículas)

LIP - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

PET - Positron Emission Tomography (Tomografia por Emissão de Positrões)

MOEDAL - Monopole and Exotics Detector At the LHC (Detetor de monopólos e partículas exóticas no LHC)

PS - Proton Synchrotron (Ciclotrão de Protões)

SC - Synchrocyclotron (Sincrociclotrão)

SPS- Super Proton Synchrotron (Super Ciclotrão de Protões)

STC - Sociedade, Tecnologia e Ciência

SUSY- Supersymmetry theory (Teoria da Supersimetria)

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TOTEM - Total cross section, Elastic scattering and diffraction dissociation Measurement at the LHC (Medição da secção eficaz total, dispersão elástica e dissociação difrativa no LHC)

TRG - Teoria da Relatividade Geral

UAlg - Universidade do Algarve

WIMP - Weakly Interacting Massive Particles (partículas massivas de fraca interação)

## **Nota introdutória**

O presente relatório foi elaborado no âmbito do mestrado em ensino no 3.º ciclo de ensino básico e secundário, na área de Física e Química, e tem como principal objetivo o reconhecimento e avaliação do percurso académico, formativo e profissional da autora para obtenção do grau de mestre em ensino.

Nas últimas décadas verificou-se um extraordinário desenvolvimento científico e tecnológico ocorrendo inevitavelmente mudanças nos hábitos, nas atitudes e em alguns valores, daí que, seja imprescindível, uma constante atualização para podermos ir ao encontro das necessidades e interesses dos alunos.

Fala-se com alguma premência nas dificuldades em promover a aprendizagem e o desempenho dos alunos na sala de aula. Há que reconhecer que os fatores motivacionais afetam os processos de aprendizagem e a realização de tarefas. A aprendizagem e a realização no contexto escolar não depende apenas da capacidade intelectual, mas também da sua capacidade para lidar com a realização, sobretudo, se esta resulta em fracasso. Costumamos dizer que já nada os surpreende daí, ser de extrema importância, recorrer à experimentação é à tecnologia para estimulá-los e aguçar-lhes a mente.

É necessário desenvolver o senso crítico dos alunos. O papel do professor precisa passar por uma transformação, na opinião da autora, e é necessário criar novos meios de construção do conhecimento a serviço da curiosidade dos alunos. O modelo de educação, acima de tudo, não pode ignorar a curiosidade das crianças!

As disciplinas “fechadas” impedem a compreensão dos problemas do mundo. É preciso educar os professores para o estabelecimento de ligações com outros campos de conhecimento. E essa evolução ainda não aconteceu. O professor possui uma missão social, e qualquer cidadão precisa ter a consciência dessa missão.

As partes II e III do relatório serão dedicadas à temática: a descoberta do universo e a sua contribuição no ensino da Física e da Química recorrendo a ferramentas interativas e de aprendizagem. A educação para a ciência, integrada numa perspetiva atual Ciência/Tecnologia/Sociedade, trazendo, desta forma, a ciência e a tecnologia para as escolas do século XXI.

## **Parte I – Percurso Profissional e Formativo**

### **1. Antes da Profissionalização**

Licenciei-me em Física e Química, ramo de formação educacional, pela UAlg - Universidade do Algarve.

No ano letivo 2006/2007 realizei o estágio profissional, na Escola E. B. 2,3 Santo António, em Faro, de acordo com a proposta do Ministério da Educação e da minha Universidade.

No dia 1 de setembro de 2006, apresentei-me no estabelecimento de ensino, tendo sido recebida pela minha orientadora de estágio, Prof.<sup>a</sup> Maria Pina, a qual me integrou no local e no grupo de trabalho. Mostrou-me as instalações, nomeadamente, as salas destinadas às aulas de Ciências Físico-Químicas e os laboratórios e apresentou-me à direção da escola, à coordenadora do grupo 510 e aos restantes colegas.

Na semana seguinte, reuni-me com a orientadora para definirmos as tarefas a realizar. Procedi à elaboração de alguns materiais e de uma bateria de grelhas de avaliação dos alunos e de autoavaliação, a serem preenchidas, ao longo do ano. Colaborei com os colegas da disciplina na preparação das planificações anuais e assisti às reuniões preparatórias de arranque do ano letivo.

Preparei os questionários para aplicar aos meus alunos e posteriormente fazer a caracterização da turma. Fiz também o teste diagnóstico, tendo-me informado das características da turma em que iria lecionar, em geral das particularidades dos alunos. Foi-me ainda comunicado que se tratava de um grupo com um aproveitamento bastante satisfatório e um comportamento regular, salvo raras exceções.

Ao longo do primeiro período desempenhei tarefas muito diversificadas, pois além da preparação e lecionação das aulas numa turma do 9.º ano de escolaridade, fiz planificações, materiais de apoio, tais como, fichas de trabalho e formativas, fichas de avaliação, entre outros. Elaborei atividades em conjunto com a orientadora e a minha colega estagiária, tendo assistido às suas aulas.

Também participei em algumas atividades desenvolvidas na escola, nomeadamente, a elaboração de um *placard* de curiosidades onde, quinzenalmente, era colocada uma

questão para que os alunos tentassem resolver, sendo atribuído um prêmio simbólico, à resposta mais adequada. Organizei uma palestra intitulada “Viagem ao mundo da nanotecnologia.irá a ficção científica transformar-se em inovação tecnológica?” e preparei um *Peddy Paper* de Natal onde puderam participar os alunos do 3º ciclo, sendo-lhes também atribuídos prêmios.

Assisti a todas as reuniões com a orientadora e a minha colega de estágio, bem com às reuniões do Departamento de Ciências Exatas e Naturais e às reuniões de avaliação, de final de período.

No segundo e terceiro períodos, dei continuidade às tarefas que já foram mencionadas no período anterior, tendo colaborado na organização do Laboratório Aberto, mostrando como se fazem atividades simples e divertidas, fomentando a curiosidade para os fenómenos da ciência e permitindo aos alunos fazer experiências sob a minha orientação e de outros professores. Preparei ainda uma palestra sobre “Cozinhas e fornos solares” destinada a toda a comunidade escolar.

No terceiro período, a nível de atividades escolares participei no Fórum do Adolescente, no Projeto-Energia (foram pedidos aos alunos dois trabalhos sobre esta temática) e participei na Feira das Profissões.

Ao longo dos períodos letivos, fui adequando as atividades e as estratégias ao ritmo da turma, a qual estava dividida em dois turnos. O primeiro mais participativo e com melhor aproveitamento, embora com um comportamento mais perturbador, tendo sido necessário ajustar, com alguma frequência, a planta de sala de aula.

O aproveitamento dos alunos na disciplina de C.F.Q. foi satisfatório. De um total de vinte e seis alunos, somente três alunos obtiveram a nota global inferior a três, correspondendo a 11,54%. Catorze obtiveram como menção 4 (53,84 %) e os restantes nove a menção 3 (34,62%).

Em termos globais, apesar de se tratar de um ano de estágio, tive oportunidade de intervir em todas as vertentes, tendo sido uma experiência bastante enriquecedora e dela retirei conhecimentos não só científicos, como práticos, de grande utilidade na prática educativa diária.

Senti determinadas dificuldades em lidar com comportamentos perturbadores de alguns alunos mas, de um modo geral, consegui controlar o grupo/turma, criando um bom relacionamento e um ambiente facilitador de aprendizagens.

Gerir os diferentes ritmos de trabalho e de aprendizagem dos alunos foi outra dificuldade com que me deparei e que procurei superar diversificando ao máximo as metodologias e aplicando estratégias de diferenciação. As atividades eram planificadas de acordo com a necessidade de cada um deles. Elaborei fichas de trabalho e fichas de avaliação diferenciadas, dei apoio individualizado, muitas vezes organizei sub-grupos para facilitar as tarefas/atividades percebendo melhor os diferentes estilos e ritmos de aprendizagem, interesses e experiência de vida dos alunos.

No que diz respeito ao meu trabalho como professora da disciplina de Ciências Físico-Químicas nesta turma do 9.º ano do ensino básico, devo dizer que consegui ultrapassar essas dificuldades iniciais. Contudo, persistiu a “inércia” imposta por um dos alunos relativamente ao seu comportamento insolente que perturbou o normal funcionamento das aulas.

Outro dos aspetos fundamentais foi conciliar os conhecimentos científico - académicos e a forma de conduzir as aprendizagens dos alunos, de modo a que pudessem compreender todos os conteúdos programáticos e conseguissem superar as dificuldades nas operações matemáticas usadas na minha disciplina.

Realizei várias atividades experimentais, pois são muito motivadoras, dado que os alunos participam mais, construindo-as de raiz e procedendo à respetiva análise de resultados. Recorri não só às atividades experimentais propostas no manual escolar adotado (como por exemplo: Fatores de que depende o atrito; reatividade de sódio, do potássio, do magnésio e do cálcio; medição da diferença de potencial; Lei de Ohm; entre outras), assim como outras que considerei relevantes para uma melhor aquisição de conhecimentos.

Tentei envolver todos os alunos nas aulas e, em alguns casos, solicitei a ajuda dos alunos na explicação de conceitos (na realização de revisões, por exemplo, esta é uma forma de orientar e ajudar os alunos a estudar e a consolidar aprendizagens).

Relativamente às aulas, devo salientar que todas elas foram observadas pela orientadora da escola e pela minha colega estagiária. No que diz respeito aos orientadores da

Universidade do Algarve, Prof. Doutor Paulo Sá e Prof. Doutor José Moreira, assistiram, na totalidade, a nove aulas.

Em termos gerais, analisando o meu desempenho, ao longo do ano letivo, posso concluir que desempenhei com rigor e profissionalismo as minhas funções. Fui bastante ativa, pois sempre que pude colaborei e envolvi-me em várias atividades do departamento, assim como em atividades onde os alunos da minha turma participaram.

Consegui organizar as minhas aulas de forma a proporcionar aos alunos um “leque” vastíssimo de material didático, fichas de trabalho, exercícios, demonstrações, atividades experimentais e acontecimentos discrepantes. Estes últimos expressam situações inesperadas e envolvem mais o aluno em fenómenos concretos apelando à curiosidade, à tomada de consciência dos conflitos existentes entre os seus conceitos prévios e os conceitos científicos.

Fiz uma avaliação contínua das aprendizagens, contabilizando todo o trabalho desenvolvido, ao longo dos períodos. Em cada período, exceto no terceiro, foram realizadas duas fichas de avaliação formal e, no final de cada período, a avaliação foi sempre sumativa, atribuindo ao aluno um nível indicativo do seu desempenho.

Na minha opinião, realizei nas aulas um trabalho direcionado para o desenvolvimento das competências dos alunos; envolvi-os sempre que possível de uma forma ativa nas aulas, fazendo-os participar, raciocinar, serem autónomos e críticos em relação aos resultados e ao seu próprio trabalho.

Devo dizer também que foi uma experiência muito agradável, o contato com os alunos de 9.º ano fez-me perceber o gosto que realmente sentia por este trabalho e motivou-me ainda mais para os anos posteriores.

Evoluí profissionalmente, visto que não tinha qualquer experiência nesta área, e o convívio com os alunos “despertou” em mim um gosto ainda maior de ensinar e orientar os jovens.

Esforcei-me bastante por melhorar como profissional e também para que os meus alunos pudessem usufruir de um ensino de qualidade. Como tal, considero que os objetivos definidos pelo grupo 510 foram maioritariamente atingidos.

Por vezes, tive a sensação de que caía na Terra e nesses precisos instantes apercebi-me que estava a dar aulas na realidade! Foi como ter feito uma “pausa” para sentir efetivamente de que o que estava a fazer me trazia felicidade!

## 2. Após Profissionalização

A arte de ensinar pode ser muito gratificante, na medida em que temos a oportunidade de ver os resultados e os progressos feitos pelos alunos.

Ensinar é um dos maiores desafios para os professores e só com gosto pelo ensino e pelas crianças é que se consegue “despertar” em cada um o desejo de aprender e a vontade de estudar para, posteriormente, ajudar a descobrir e a desenvolver as suas potencialidades.

Desde pequena que ambicionava ser professora e considero que optei pela profissão certa. Acho que segui o rumo certo.

Terminado o ano de estágio e finalizado o Curso em Física e Química, tive oportunidade de iniciar a minha atividade profissional no ano letivo 2008/2009, na escola Secundária de Silves.

Fui contratada para lecionar a área de competência de Sociedade, Tecnologia e Ciência (STC), nos Cursos de Educação e Formação de Adultos de Técnicos da Ação Educativa (EFA-TAE) e Práticas Administrativas (EFA-PAD), sendo os principais objetivos dos cursos a elevação dos níveis de escolaridade portuguesa e o cumprimento do referencial de formação emanado pela Agência Nacional para a Qualificação. Estes cursos eram direcionados para adultos com idade superior a dezoito anos e que não tivessem o 12.º ano. São de dupla certificação, escolar e profissional, tendo uma componente de formação base e outra tecnológica. A aprovação nos diferentes módulos é efetuada mediante o reconhecimento e validação de competências. Eu lecionei STC<sub>6</sub> – Modelos de Urbanismo e Mobilidade e STC<sub>7</sub> - Sociedade, Tecnologia e Ciência, módulos 6 e 7 respetivamente, de formação base.

Nas sessões de formação, recorri às tecnologias de informação e comunicação (TIC), usei o computador e o projetor de vídeo com o objetivo de motivar os alunos a recorrerem também a estas tecnologias, desenvolvendo competências gerais e o gosto pela pesquisa de informação.

Recorri também aos métodos expositivo e demonstrativo. O método expositivo é um método tradicional, de comunicação unilateral mas onde se expõe toda a matéria de forma organizada, tendo que, *à posteriori*, fazer atividades/exercícios para verificar se os alunos compreenderam os conteúdos abordados.

Já no método demonstrativo é onde o professor usa de forma adequada as ferramentas, equipamentos e técnicas, possibilitando aos alunos esclarecerem dúvidas que vão surgindo no decorrer da demonstração. Foram feitas também demonstrações indiretas através do *powerpoint*, filmes e vídeos.

Dinamizei uma palestra intitulada “Como Dramatizar uma história para crianças” inserida no projeto “A hora do conto”. Organizei uma visita de estudo a um terreno agrícola, em Silves e à Quinta Pedagógica de Silves, inserida na unidade de competência STC<sub>6</sub>- Modelos de Urbanismo e Mobilidade e participei no projeto da turma EFA-TAE, assistindo também à palestra “Importância das histórias, jogos e criatividade infantil no desenvolvimento da criança”.

Os formandos que frequentaram com assiduidade as sessões mostraram-se aplicados e interessados. A relação pedagógica estabelecida foi baseada no trabalho e no respeito pelas regras de conduta. Tentei sempre cativar os formandos e integrá-los de maneira a que percebessem que é muito importante a formação ao longo da vida e assim se preparassem para as constantes alterações do mundo do trabalho.

Nesse mesmo ano, frequentei o curso de “ Formação Pedagógica Inicial de Formadores” promovido pela Associação Portuguesa de Solidariedade e Desenvolvimento. Este curso visa fornecer competências ao nível das metodologias, processos pedagógicos e modelos de apresentação, no âmbito da formação profissional. Foi uma mais-valia, pois permitiu-me melhorar técnicas para serem aplicadas em contexto de formação.

No ano letivo 2009/2010, lecionei a disciplina de Ciências Físico-Químicas, em simultâneo na Escola Básica dos 2.º, 3.º ciclos João da Rosa, em Olhão e na Escola Secundária Dr.<sup>a</sup> Laura Ayres, em Quarteira.

Em Olhão, lecionei numa turma de 9º ano. Em Quarteira tive duas turmas, uma de 7ºano e outra do 11.º ano de escolaridade.

Todas as aulas foram preparadas e organizadas de acordo com o planificado, no início do ano letivo e recorri aos métodos expositivo, demonstrativo e cooperativo.

Os recursos mais usados foram: trabalhos de pesquisa, atividades experimentais, fichas informativas e formativas, fichas de trabalho, entre outros, ou seja, todo o tipo de materiais facilitadores da aprendizagem.

Particpei na elaboração das provas de aferição do 7.º ano do ensino básico, no projeto do Departamento “Ciência na tua mão” e acompanhei os meus alunos na exploração de todas as atividades inerentes ao projeto, nomeadamente, esparguete dançarino, balão mágico e couve roxa.

No âmbito da formação contínua frequentei o curso de formação “ Descobre o teu Universo! Vamos aprender e...ensinar astronomia?” (CCPFC/ACC-56496/09) no Centro de Ciência Viva do Algarve. Este curso, com duração de vinte e cinco horas, proporcionava uma formação base orientada para os conceitos de astronomia lecionados nos segundo e terceiro ciclos. Era constituído por um módulo introdutório à temática e outros três específicos: “A Astronomia no ensino básico e secundário”, “Utilização de telescópios. Observação diurna e noturna” e utilização do “Galileo Teacher Training Program”. Esta formação foi ao encontro das minhas necessidades, pois permitiu-me adaptar aprendizagens e experiências à minha prática letiva.

No ano letivo 2010/2011, lecionei a disciplina de Ciências Físico-Químicas, estando a substituir uma colega, única e exclusivamente, durante o primeiro período letivo, na Escola EB 2,3 Infante D. Fernando, em Vila Nova de Cacela. Foram-me atribuídas três turmas, uma do 9.º ano e duas turmas do 7.º ano e, numa destas, desempenhava a função de diretora de turma.

Como diretora de turma, desempenhei diversas funções: presidi as reuniões de conselhos de turma, registei semanalmente as faltas dadas pelos alunos nas diferentes disciplinas, fomentei a disciplina e regras de procedimento disciplinar, criei e desenvolvi um diálogo aberto com a turma, de forma a proceder à orientação escolar e estimular a participação dos alunos na comunidade escolar. Procurei ainda ter um conhecimento do meio familiar e social de cada aluno para poder ajudar a superar algum constrangimento e/ou contrariedade. Sempre que necessário contatei os encarregados de educação de forma a mantê-los informados sobre a situação escolar dos seus educandos.

Nos segundo e terceiro períodos fui colocada no Agrupamento de Escolas José Belchior Viegas, onde lecionei Física e Química em cursos profissionais de informática dos 10.º e 12.º anos de escolaridade. Fui Diretora de Turma dos alunos do 10.º ano do curso profissional. Fiz assessoria a uma turma de 10.º ano; dei aulas de apoio a alunos de 11.º ano e lecionei a disciplina de Química a uma turma de 12.º ano.

Com os alunos dos cursos profissionais, adotei uma postura completamente distinta. Estes cursos têm uma estrutura curricular organizada por módulos e uma forte ligação com o mundo profissional, o que facilita a futura integração dos alunos no mundo do trabalho.

Como diretora de turma estabeleci inúmeros contatos com os encarregados de educação, a fim de prevenir o abandono escolar dos seus educandos e mantive um diálogo permanente com os alunos, orientando-os em termos escolares e de futura integração em estágios profissionais.

Particpei na elaboração da matriz assim como da respetiva prova de equivalência à frequência da disciplina de Química, 12.º ano, e prestei ainda funções de vigilante/suplente na realização dos Exames Nacionais e de equivalência à frequência no ensino Secundário (1.ª fase).

Estive presente em todas as reuniões para as quais fui convocada, gerais, de departamento e conselho de turma, colaborando com os colegas na procura de estratégias e soluções, disponibilizando-me para o que fosse necessário, nomeadamente, a elaboração de documentos ou de atividades diversas.

Particpei num “*Peddy Paper*” realizado no segundo período, no âmbito do projeto de Educação Sexual, cuja área temática proposta para a disciplina de Física e Química foi a saúde sexual e reprodutiva. Os objetivos visavam promover o conhecimento sobre a utilização adequada dos métodos contraceptivos, a acessibilidade à contraceção e a desmistificação de ideias pré-concebidas, mitos sobre o comportamento sexual e a saúde reprodutiva. Estes objetivos foram atingidos com sucesso, tendo os alunos considerado a atividade muito enriquecedora e útil.

No terceiro período, organizei uma visita de estudo a Faro, à feira das ciências, inserida no projeto “Química, luz e cor”, realizado no âmbito do Ano Internacional da Química com o apoio do Centro de Ciência Viva do Algarve. Intitulava-se “Tingimento com corantes sintéticos”, destinou-se a todos os alunos do ensino secundário regular e tinha como principal objetivo sintetizar o azul índigo e tingir um tecido de algodão com este corante. Esta atividade experimental procurou renovar o ensino das Ciências, devido às suas potencialidades educativas, tanto a nível dos saberes e processos de trabalho científico como a nível pessoal e social. Esta atividade teve um impacto muito positivo nas aprendizagens dos alunos.

Ao longo de todo o ano letivo, procurei, como sempre, que os meus alunos tivessem um papel ativo nas atividades escolares, em geral e em particular nas ações dinamizadas no âmbito do Plano Anual de Atividades do Departamento de Matemática e Ciências Experimentais.

Estabeleci com os alunos uma relação pedagógica de amizade baseada no trabalho e no respeito pelas regras de conduta, embora alguns deles tentassem quebrar algumas dessas regras, principalmente nos cursos profissionais, pois são alunos com comportamentos mais problemáticos. Contudo, penso que consegui criar um clima de disciplina e trabalho na sala de aula, através da motivação e participação dos alunos nas atividades, evitando deste modo, recorrer a medidas autoritárias e prevenindo a existência de conflitos de maior.

Além do bom relacionamento que mantive com os alunos, estabeleci também, uma relação bastante positiva com todos os elementos da comunidade escolar incluindo colegas, auxiliares de ação educativa, encarregados de educação e restantes parceiros. Colaborei de forma efetiva com os órgãos de gestão e com a coordenadora do grupo disciplinar.

Em termos científico-pedagógicos, reconheço que a atualização é um fator indispensável, dado que, a sociedade e os conhecimentos científicos estão em permanente evolução. Como tal, procuro manter-me atualizada, alargando os meus conhecimentos científico-pedagógicos através de pesquisa/leituras em diferentes meios. Também promovi a partilha desses saberes com os colegas e com os alunos.

No âmbito da formação, fiz um curso de Pós-graduação em Educação Especial nos Domínios Cognitivo e Motor (duzentas e oitenta horas), por sentir necessidade de formação nesta área, pois com a inclusão de crianças com necessidades educativas especiais em turmas de currículo normal são precisas estratégias que ajudem a melhorar o sucesso desta integração.

Frequentei um curso de Inglês Geral (duzentas e quarenta horas) tendo atingido o nível “Threshold”. Esta formação, para além de ter contribuído para o meu desenvolvimento profissional e pessoal completou os meus conhecimentos adquiridos, nesta língua, até ao ensino universitário e possibilitou-me a criação de novos recursos pedagógicos, uma vez que muitas informações atuais/materiais didáticos, assim como, livros técnicos se encontram somente na língua inglesa.

Assim sendo, dada a universalidade desta língua, todos teremos que aperfeiçoá-la para que a possamos usar como meio para o sucesso de estratégias, estando estas indubitavelmente inerentes ao bom desempenho dos estudantes.

No ano letivo 2011/2012, lecionei no 1.º período, no Agrupamento de Escolas de Vila Real de Santo António, na escola Secundária. Tive numa turma de 8.º ano, a disciplina de Ciências Físico-Químicas e noutra do 11.º ano a disciplina de Física e Química, tendo sido também Diretora de Turma, nesta última.

No que concerne ao desenvolvimento do ensino e aprendizagem, tentei fomentar a construção de aprendizagens nos domínios do “saber-fazer”, do “saber-estar/ser” e do “saber-aprender”. Recorri a instrumentos de avaliação nomeadamente a listas de verificação, a grelhas de observação, a escalas de classificação, entre outros, que possibilitem a sua regulação assim como a adoção de estratégias diversificadas como, por exemplo, portfólio, debate, mapa concetual e *brainstorming* proporcionando desta forma qualidade no ensino-aprendizagem. A utilização de estratégias diversificadas pode facilitar a compreensão de conhecimento científico, ilustrando a forma como este é construído e realçando o seu carácter evolutivo [120].

Para além disso estabeleci uma relação/clima relacional aprazível entre todos os elementos da comunidade educativa.

Como formação, frequentei com aproveitamento a edição de 2012 do curso de formação “Escola de professores no Centro Europeu de Pesquisa Nuclear”, no CERN, no mês de agosto.

O CERN é o maior centro mundial de investigação em física das partículas, onde os cientistas usam o instrumento mais complexo do mundo, o acelerador de partículas, para estudarem os constituintes básicos da matéria e da antimatéria assim como as forças que atuam entre as partículas elementares.

Da ciência dos materiais à informática, a física das partículas recorre a aplicações de vários campos do saber com níveis de complexidade extremos, de onde resultam atualmente diversas aplicações.

Tratou-se de uma experiência inesquecível e revelou-se extremamente útil, para mim, pois o contato com esse local fez-me pensar em alguns planos escolares e profissionais e até mesmo nalguns dos meus projetos. Irei ter em linha de conta, determinados aspetos e conteúdos lá focados.

No presente ano 2015/2016 não obtive colocação em nenhuma escola, encontrando-me a exercer a função de explicadora e de sócia-gerente num centro Pedagógico-Educacional.

Este centro de explicações nasceu de uma vontade de criar um novo conceito de ensino baseado nas mais diversas metodologias/tecnologias. Mediante planos de estudo adaptados às necessidades dos alunos e através de uma relação de confiança é possível fazê-los alcançar os seus objetivos.

Aprender não deve apenas “conduzir-nos” a um determinado sítio, mas sim permitir-nos continuar mais tarde esse caminho, com maior facilidade. Daí que seja fundamental construir as aprendizagens dos alunos mediante técnicas e métodos de estudo de forma a torná-los cada vez mais empenhados e autónomos. O filósofo Martin Heidegger dizia: “Ensinar significa ensinar a aprender” e para tal os alunos terão de aprender a aprender!  
[121]

Os bons professores sabem que a sua competência científica e pedagógica é um factor determinante para a qualidade da educação nas escolas. Daí que investem na formação contínua, refletem, de forma crítica e sistemática nas suas práticas e mostram-se “abertos” à inovação e à mudança.

Obtive o Certificado de Competências Pedagógicas (CCP), e estou atenta a novos cursos que venham ao encontro das minhas necessidades de formação.

É importante acreditar na importância da profissão docente para a construção de uma sociedade melhor, alicerçada em conhecimentos e valores.

Não obstante as dificuldades existentes e face à conjuntura do país é necessário continuar a formar indivíduos, despertar vocações e construir futuros!

## **Parte II – Panorama da Cosmologia Atual**

### **3. Relevância e justificação do tema**

As crianças são curiosas por natureza, mas a curiosidade que lhes é inata pode ser destruída por anos de educação escolar e por pressões da vida real. Face aos constrangimentos da realidade, muitos jovens na transição para a adolescência começam a preocupar-se com questões puramente utilitárias e param de se questionar sobre o funcionamento do mundo... Segundo Sean Carroll, as crianças adoram ciências até aos 10 ou 14 anos [6].

Infelizmente e de acordo com os modelos de ensino da nossa escola pública, só a partir do 7.º ano de escolaridade é que a criança começa a ter um contato obrigatório com a disciplina de Ciências Físico-Químicas, e como tal, a partir desse momento compete-nos a nós, professores da disciplina, tentar direcionar os jovens para o mundo das ciências e fazê-los ter a perceção de que a física estuda os fundamentos básicos da realidade e que expandiu tanto os limites da compreensão, que é preciso construir aceleradores gigantes e telescópios para obter as informações necessárias para a verificação das nossas teorias atuais. Até a relatividade geral acabou por ter implicações no nosso quotidiano, por exemplo, nas correções necessárias ao sistema de posicionamento global (GPS). O importante é termos a perceção de que não exploramos algo pela utilidade ou finalidade que tem mas pelo simples facto de sermos curiosos! A física das partículas é uma manifestação evidente da curiosidade humana para tentar compreender o mundo que nos rodeia.

Dai que sem esta investigação básica, que é regida pela curiosidade e/ou mistério, o nosso mundo seria hoje completamente diferente. E de facto, será, sem dúvida, essencial que os nossos jovens continuem esta busca incessante do mundo desconhecido através da componente científica mediante a disciplina de Ciências Físico-Químicas e áreas afins.

A criação e a investigação científicas, bem como a inovação tecnológica, serão a “chave de ouro” para motivar os jovens pelo mundo da ciência.

O tema que escolhi para implementação desta estratégia foi: “A Descoberta do Universo - uma contribuição para o ensino de Física e Química” dado tratar-se de uma temática de suma importância, atual, e que desperta, sem dúvida, a curiosidade de qualquer jovem.

Em relação a esta temática, a descoberta do bóson de Higgs parece ser a peça final de um puzzle relativo à forma como a matéria comum funciona a um nível profundo, e em cuja solução os cientistas têm trabalhado desde há imenso tempo.

No CERN estudam-se os processos fundamentais de interação da matéria e seria muito importante que os alunos das nossas escolas pudessem estabelecer algum contato direto com esta realidade, idealmente através de visitas ao local ou, na impossibilidade de o fazer, através de aulas baseadas em vídeo – conferência. Evidentemente, estas atividades deverão também ser aliadas à componente experimental. Assim, neste trabalho será definida uma estratégia para introduzir uma das experiências do CERN na lecionação do programa curricular do ensino secundário. A experiência selecionada foi a construção de uma câmara de nuvens “cloud chamber” para detetar raios cósmicos. A estratégia proposta é baseada no pressuposto simples de que se deve ir ao encontro dos interesses atuais das crianças, o que no contexto atual se traduz em criar ferramentas interativas e simultaneamente de aprendizagem. Criei um jogo intitulado: “TeenSpaceAdventure” através da linguagem de programação Scratch (<https://scratch.mit.edu/>). O jogo apela à curiosidade das crianças e aproveita a facilidade que elas têm na área da informática para as levar a explorar o jogo na íntegra. De forma a não restringir o público alvo, o jogo não aprofunda apenas uma única matéria, mas um conjunto de conteúdos programáticos lecionados quer no ensino básico quer secundário. A utilização do jogo em ambiente de aula, ou como auxiliar de estudo, em casa, representa uma oportunidade de reforçar a transdisciplinaridade, nomeadamente, com a disciplina de TIC onde, a partir do 8.º ano, é lecionado o programa Scratch como conteúdo programático; ou ainda através da inserção nas aulas de programação no 1.º ciclo do ensino básico, em 2015, através do projeto - piloto levado a cabo pela Direção- Geral da Educação. O programa proposto poderá ser uma mais valia para os jovens que, desde cedo, podem ficar munidos de ferramentas essenciais, links úteis (inclusivamente do CERN), tutoriais, contatos que lhes possibilitem a criação dos seus próprios jogos.

Este jogo será introdutório, funcionando como uma “alavanca” para desafiar as mentes dos nossos jovens, dando-lhes liberdade para pensar e explorar. Como algumas questões estão em aberto, o aluno tem oportunidade de desenvolver o seu próprio jogo e dessa

forma explorar esses conteúdos ao máximo satisfazendo, em simultâneo, a sua curiosidade. Fez-se alusão a Stephen Hawking como fonte inspiradora e exemplo a seguir, pois, apesar das adversidades da vida, tem levado a cabo esta incessante e alegre procura da origem e dos mistérios do universo. Pretende-se, de facto, apelar aos jovens no sentido de prosseguirem os seus estudos nas áreas científicas e quiçá descobrirem alguns dos mistérios do universo.

Em coerência com o que ficou acima explicado, espera-se que este jogo possa vir a ser implementado como recurso didático, nas escolas e centros de Ciência Viva.

## 4. Introdução

A física moderna assenta em dois pilares fundamentais. Um deles é a teoria da relatividade generalizada, de Albert Einstein, um modelo teórico, focado na gravidade e que permite compreender o universo em grande escala: estrelas, galáxias, agrupamentos de galáxias e ainda, para além disso, a imensidão do próprio universo. O outro é a mecânica quântica, focada nas outras três forças (força nuclear forte, força nuclear fraca e força eletromagnética), que nos dá princípios teóricos que permitem compreender o universo nas mais pequenas escalas: moléculas, átomos, até às partículas subatómicas como os eletrões e os quarks. Ao longo de anos de investigação, os físicos confirmaram experimentalmente todas as previsões feitas por cada uma destas teorias. Mas estes mesmos procedimentos teóricos levam inexoravelmente a uma outra conclusão: tal como estão formuladas presentemente, a relatividade generalizada e a mecânica quântica não podem estar as duas certas. As duas teorias são mutuamente incompatíveis. Mas como temos um só universo, devemos ter uma teoria que contemple tudo. Se queremos perceber o Big Bang e como o universo começou, não podemos dividir a sua explicação em grandes e pequenas escalas. É por isso que se procura uma teoria que abranja tudo. Como já se referiu, todo o conhecimento físico ao nível fundamental está contido em dois pilares da física: a relatividade generalizada e a teoria quântica. Einstein foi o fundador do primeiro, o padrinho do segundo e preparou o caminho para a possível unificação dos dois [17].

“A coisa mais incompreensível no Universo é ele poder ser compreendido” Albert Einstein

## 5. Modelo Padrão

O modelo padrão é o primeiro passo da receita para “cozinhar” o universo e rege-se por duas ideias básicas. A primeira é a de que toda a matéria é feita de partículas elementares, a segunda é a de que essas partículas interagem entre si, modificando outras partículas associadas, mediante forças fundamentais.

Trata-se de um modelo que inclui as forças fundamentais forte, fraca e eletromagnética, bem como, dois tipos de partículas elementares, os fermiões<sup>1</sup> e os bosões<sup>2</sup>, que constituem toda a matéria [6].

O mesmo integra duas teorias quânticas relativistas dos campos, a cromodinâmica quântica, uma teoria de campo de quarks interagindo com os glúons coloridos fortes e o modelo Weinberg-Salam das interações fraca e eletromagnética unificadas (modelo electrofraco). A junção de ambas as teorias permite descrever tudo o que observamos num mundo material, exceto a gravidade [25].

A cromodinâmica quântica descreve matematicamente como os quarks se ligam entre si, ao ponto de ficarem confinados em minúsculos “sacos”. Estas partículas, semelhantes a “sacos”, com os quarks retidos lá dentro, são os hádrons, o grande “zoo” das partículas com interação forte, observadas nos laboratórios com aceleradores de altas energias.

O modelo electrofraco unifica a anterior teoria dos fótons e electrões, chamada eletrodinâmica, com uma teoria de Yang – Mills das reações exclusivamente fracas, que descreve o decaimento dos quarks e dos leptões. Foi o primeiro exemplo de uma teoria de campo unificado, na qual duas interações distintas, neste caso as interações eletromagnética e fraca, se tornam não mais do que manifestações separadas de simetrias de campo subjacentes. Este modelo electrofraco serviu de inspiração às tentativas posteriores de unificação dos campos [25].

Em suma, o modelo padrão consiste no conjunto formado pela cromodinâmica quântica, para as interações fortes dos quarks e pela teoria electrofraca para as interações

---

<sup>1</sup> Partículas que possui spin semi-inteiro e que obedece ao princípio de exclusão de Pauli que afirma que dois fermiões não podem existir no mesmo estado quântico. Entre vários exemplos de fermiões temos o próton, o electrão e o neutrão [112].

<sup>2</sup> Partículas que possui spin inteiro. Quer as partículas associadas a interações fundamentais quer as partículas compostas de números pares de constituintes dos fermiões são designadas por bosões. Entre vários exemplos de bosões temos o fóton, o glúon, o bosão de Higgs, entre outros [112].

eletromagnética e fraca dos quarks e dos leptões, parecendo um dado adquirido em todas as experiências realizadas. Contudo, em 1984 os cientistas relataram alguns acontecimentos de alta energia observados no CERN que se tornam difíceis de explicar no quadro do modelo padrão, ainda que o significado destes acontecimentos não seja claro, necessitando de mais estudos que o comprovem [6].

Para os teóricos de partículas o modelo padrão continua a ser considerado como uma verdade absoluta, que descreve a construção do universo e que suporta a ideia de que qualquer modelo futuro deverá incluí-lo.

Porém, boa parte dos físicos, sente que este modelo é, no fundo, insatisfatório. Os físicos contestam o modelo, alegando que não é uma teoria completa das interações fundamentais, por não incluir os princípios da teoria da relatividade geral, e porque a unificação dos campos no modelo padrão é ainda incompleta.

Salienta-se ainda o facto de que o modelo padrão só contempla e descreve a matéria visível e não tem propriedades de matéria escura. A matéria escura não emite luz, mas manifesta-se através dos seus efeitos gravitacionais.

Assim sendo, o modelo padrão não descreve totalmente o universo e talvez a supersimetria<sup>3</sup> possa resolver este problema! [15]

---

<sup>3</sup> Em física das partículas, supersimetria (SUSY) é uma simetria que relaciona uma partícula fundamental com um certo valor de spin com outras partículas com spin diferentes por meia unidade [117].

## 6. Um Universo em expansão

No início do século XX acreditava-se que o universo era estático. No entanto, a partir de 1912 descobriu-se que as galáxias, na altura, designadas por nebulosas, moviam-se relativamente a nós e que estariam a afastar-se. Contudo, desconhecia-se a distância a que se encontravam as nebulosas observadas.

Com o desenvolvimento tecnológico, através de telescópios e com o auxílio de métodos sofisticados, os astrónomos classificaram imensas galáxias. As distâncias às estrelas mais próximas são determinadas pelo desvio de paralaxe da órbita da Terra. Este desvio é calculado mediante o conhecimento do diâmetro da órbita e da medida do ângulo de paralaxe entre os extremos opostos da órbita. (Figura 1)

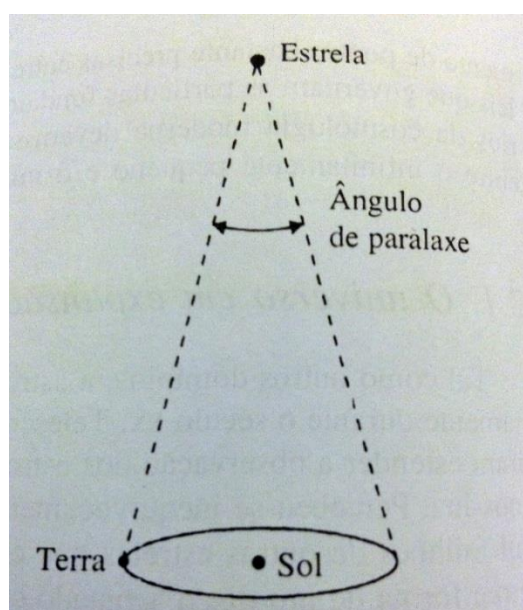


Figura 1 – Medida da distância às estrelas próximas: conhecendo a dimensão da órbita da Terra, é possível estimar a distância a partir da medida do ângulo de paralaxe [33].

Quando as distâncias são superiores a trezentos anos-luz deixa de ser possível utilizar este método dado que o desvio de paralaxe é muito pequeno.

Por volta de 1920, Edwin Hubble, começou a aplicar à cosmologia uma técnica de determinação de distâncias baseadas na observação de estrelas variáveis de um dado tipo, denominadas Cefeidas. Com este método conseguiu estimar as distâncias às “nebulosas”

conhecidas com uma precisão muito superior ao que tinha sido possível até então. Seguidamente, Hubble relacionou a distância com a velocidade radial das galáxias estudadas e concluiu que a velocidade de afastamento é tanto maior quanto maior for a distância a que se encontram. Inferiu-se daqui que o universo possui uma dinâmica até então desconhecida, o que levou à elaboração de modelos cosmológicos em expansão.

A determinação da velocidade das galáxias foi conseguida através do desvio cosmológico para o vermelho, recorrendo a um fenómeno designado por efeito Doppler (a chave da cosmologia). A frequência e o comprimento de onda das radiações eletromagnéticas sofrem um desvio, sempre que a fonte que as emite se aproxima ou afasta do observador. Se considerarmos uma galáxia como fonte emissora, o comprimento de onda da radiação emitida diminui quando esta se aproxima. Se, ao contrário, se afasta, o comprimento de onda da radiação aumenta. Como o comprimento de onda da radiação azul é mais pequeno do que o da vermelha, dizemos que há um desvio para o azul se a fonte emissora se aproxima do observador e um desvio para o vermelho caso ela se afaste. Conhecido o valor desse desvio é possível determinar a velocidade radial, isto é, a velocidade de aproximação ou de afastamento na direção do observador. A partir dos resultados obtidos e de análises espectrais foi possível inferir que todas as galáxias apresentam desvios para o vermelho, o que significa um afastamento em relação à Via Láctea. O facto de que todas as galáxias se afastam de nós independentemente da direção de observação só é compatível com a explicação de que o universo se encontra em expansão. Hubble descobriu algumas das características dessa expansão mediante uma relação matemática, designada por lei de Hubble:  $v = Hd$  onde  $v$  e  $d$  são respetivamente a velocidade de afastamento e a distância à galáxia. A medição exata da razão entre a velocidade de afastamento de uma galáxia e a sua distância é conhecida por constante de Hubble,  $H$  [22].

Se o ritmo de expansão tiver sido constante através do tempo, então será possível determinar a idade do universo, uma vez que a expansão pode ser seguida inversamente até ao Big Bang. A melhor medição da constante de Hubble foi feita pelo Telescópio Espacial Hubble nos anos 90 e indica uma idade de 13,8 mil milhões de anos para o universo [22] [118].

## 7. A geometria do Universo

Antes de Hubble ter apresentado a lei que descreve a expansão do universo, Einstein apresentou, em 1915, a Teoria da Relatividade Geral (TRG). Esta teoria também designada como teoria da gravitação veio prever o comportamento dos sistemas gravitacionais sujeitos a condições em que as leis de Newton falham, nomeadamente quando as velocidades envolvidas são próximas da velocidade da luz ou no caso de campos gravitacionais muito fortes.

Dado que quanto maior for o sistema considerado, maior será a importância da força gravítica comparativamente com as restantes forças, os resultados obtidos na TRG são de extrema importância para compreendermos a evolução do universo à escala cosmológica.

A TGR permite interpretar a força gravitacional como consequência de uma deformação do espaço-tempo. Assim sendo, um corpo massivo dá origem a uma deformação da geometria do espaço-tempo à sua volta. Como consequência desta deformação, qualquer corpo ao passar na sua proximidade irá sofrer uma alteração de trajetória como se uma força estivesse a atuar sobre ele. (Figura 2)

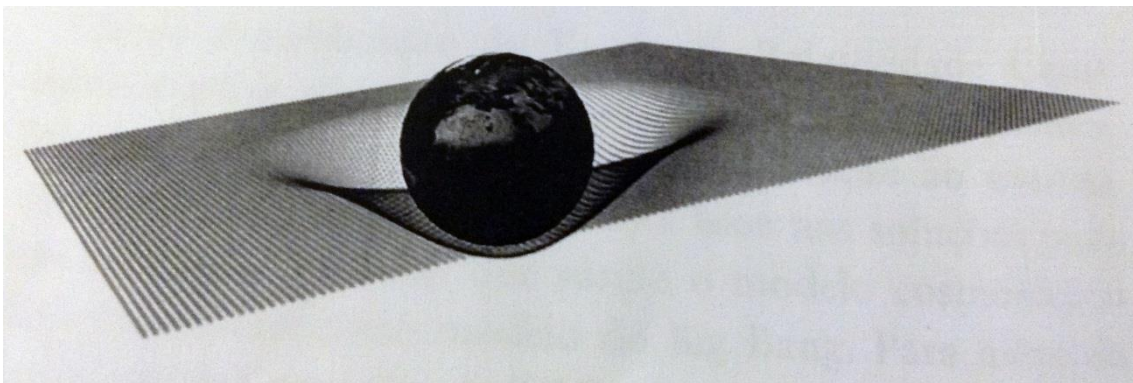


Figura 2 – Curvatura do espaço a duas dimensões [22].

É importante fazer-se referência às propriedades geométricas de um sistema pois se pretendemos estudar a geometria global do universo teremos de ter em linha de conta a sua curvatura. E é a quantidade total de massa/energia contida no universo que determina

a sua curvatura. Tendo em linha de conta as grandezas anteriormente referidas e o conteúdo energético do universo é possível determinar as características da sua evolução dinâmica e conseqüentemente se conclui que existe uma relação entre a geometria e os possíveis cenários para a evolução do universo.

O universo poderá apresentar uma curvatura negativa em que a massa/energia total é insuficiente para se opor à expansão do universo e o modelo considerado é designado como aberto no qual o universo se expande para sempre. Terá curvatura nula se a massa/energia é exatamente a necessária para fazer com que a taxa de expansão do universo diminua gradualmente mas nunca se inverta. Trata-se de um modelo de universo plano. E no modelo do universo fechado, a curvatura será positiva, a massa/energia é suficiente para a inverter a expansão, ou seja, passar de uma fase de expansão a contração e aqui o universo acabará por colapsar. (Figura 3)

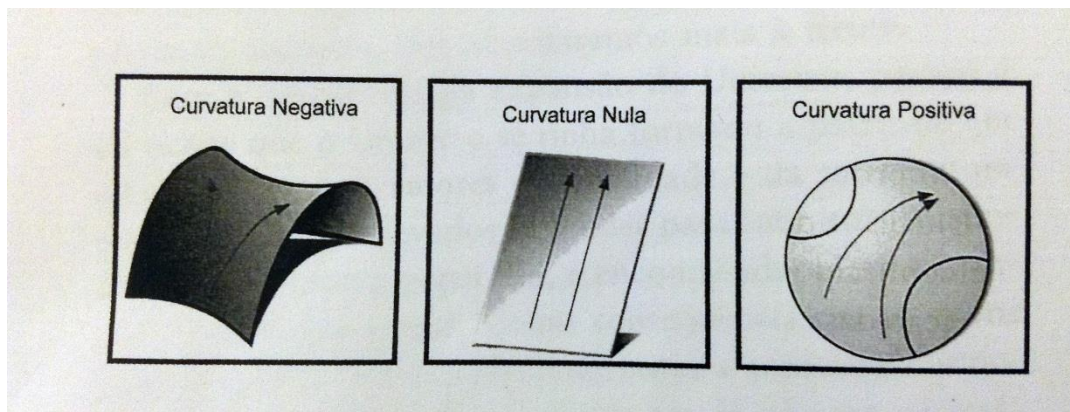


Figura 3 – As três curvaturas possíveis para o Universo [22].

Foi o trabalho dos astrónomos das décadas de 1920 e 1930, que combinaram a TRG de Einstein e as observações de Hubble sobre o Universo em expansão, que fundou a cosmologia moderna e o início ao estudo do misterioso Big Bang [22].

## 8. O Universo de Einstein

A teoria da relatividade geral de Einstein é nada mais, nada menos, que a “chave” para compreender a história do universo, a origem do tempo e a evolução de todas as estrelas e galáxias que existem no cosmos. A teoria de Einstein lança igualmente luz sobre as escalas mais ínfimas da existência, em que as partículas com maior energia podem nascer do nada. Pode explicar como o tecido da realidade, do espaço e do tempo surge e torna-se o “esqueleto” da natureza. Como diz Pedro G. Ferreira a “relatividade geral dá vida ao espaço e ao tempo” [8]. O espaço já não era apenas um lugar onde as coisas existiam, e o tempo já não era um “relógio” que acompanhava a evolução das coisas. A partir do momento em que Einstein apresentou pela primeira vez a sua teoria, esta foi usada para explorar o mundo natural, revelando o universo como um lugar dinâmico e em expansão, que pode apresentar singularidades como buracos negros e grandes ondas de energias, cada uma contendo quase tanta energia como uma galáxia inteira. A relatividade geral permitiu-nos ir mais longe do que jamais imaginávamos. Há uma forte convicção de que, escondidos na relatividade geral, há segredos profundos sobre o universo por descobrir.

Após a publicação da TGR, esta passou a ser aplicada ao nosso universo. Foi com base nas soluções para um universo dinâmico que surgiu um modelo cosmológico conhecido como Big Bang. A construção deste modelo baseia-se num princípio cosmológico. A teoria da gravitação de Einstein triunfou porque era aplicável tanto a campos gravíticos fracos, como o da Terra, como aos fortes campos gravíticos das estrelas.

O caminho que nos trouxe à teoria de Einstein da gravidade foi algo sinuoso. Passámos pela determinação da velocidade da luz, pelo abandono do éter, pela relatividade de Galileu e pela relatividade restrita, até chegarmos à relatividade geral. Depois destas reviravoltas os astrónomos passaram a dispor de uma nova teoria da gravidade. A gravidade é a força que governa os movimentos e as interações de todos os corpos celestes. Não pode portanto haver astronomia nem cosmologia se não se compreender a gravidade. A suposição de Einstein ficou conhecida como princípio cosmológico e consiste em admitir que o universo tem mais ou menos as mesmas propriedades em toda a parte. Mais especificamente, que o universo é isotrópico, ou seja, parece ser o mesmo em todas as direções e homogéneo, pois parece ser o mesmo em todos os lugares [21].

A solução das equações de Einstein aplicadas ao universo com as restrições impostas pelo princípio cosmológico indicavam que o universo seria dinâmico.

Quando Einstein aplicou a sua relatividade geral e a sua lei da gravitação ao universo como um todo, as previsões a que chegou surpreenderam-no e desiludiram-no simultaneamente. O universo apresentou-se instável e segundo a lei da gravitação de Einstein, todos os corpos do universo se atraíam mutuamente, logo tenderiam a aproximar-se uns dos outros. Este movimento originaria um colapso total. Com a sua crença num universo estático, Einstein, decidiu introduzir um termo constante,  $\lambda$ , nas suas equações, de forma a obter uma solução estática. Este termo constante foi designado por constante cosmológica. Este elemento conferia ao espaço uma força repulsiva que contrariava a atração gravítica das estrelas. Por outras palavras, a constante cosmológica atribuía uma energia ao espaço vazio. Este termo antigravítico, também denominado de energia negra ou energia escura, é a energia do vácuo puro e pode afastar ou aproximar galáxias. Einstein escolheu o valor da constante cosmológica precisamente para compensar a atração gravítica e evitar que o universo entrasse num processo de contração [21].

A antigravidade tinha um efeito significativo a grandes distâncias mas desprezável a distâncias curtas, assim sendo, não alterava as previsões da relatividade geral à escala da Terra e das estrelas. Desta forma, a fórmula revista por Einstein era capaz de explicar a existência de um universo estático e eterno; reproduzir todos os êxitos de Newton em ambientes de gravidade pouco intensos como é o caso da Terra e aplica-se a ambientes de gravidade intensa onde a teoria de Newton falhava [32].

Em suma, a constante cosmológica iria estabilizar o universo na medida em que compensava de forma exata todas as coisas que este continha. Toda a energia e a matéria que Einstein distribuía uniformemente pelo universo, tentava atrair o espaço-tempo sobre si mesmo, ao passo que a constante cosmológica repelia-o, impedindo que o universo colapsasse. Estas forças de atração e repulsão mantinham o universo num estado frágil e equilibrado: fixo e estático, exatamente como Einstein achava que tinha de ser. A introdução desta constante implica uma renúncia considerável à simplicidade lógica da teoria. Não só mas também, esta constante cosmológica, apesar de ter sido considerada por Einstein como o maior erro cometido ao longo da sua vida é um dos parâmetros muito importantes nos modelos cosmológicos atuais, desenvolvidos para dar resposta a um vasto conjunto de dados observacionais recentes [21].

Com a descoberta da expansão do universo, aceitou-se que o universo se teria formado a partir de valores de densidade e temperatura muito elevados (a tender para o infinito), pelo que o universo se encontra em expansão até à atualidade.

Se Einstein tivesse confiado nas equações originais da relatividade geral, teria previsto a expansão do universo mais de uma década antes de ela ter sido descoberta experimentalmente. Ao tomar conhecimento dos resultados de Hubble, Einstein arrependeu-se do dia em que pensara na constante cosmológica e apagou-a cuidadosamente das equações da relatividade geral [32].

Nos anos 90, no entanto, a constante cosmológica reapareceu de uma forma fantástica e desencadeou uma das reviravoltas mais dramáticas na forma de pensar a cosmologia.

As equações de Einstein não dizem nada acerca de como começou a expansão do universo. Durante muitos anos, os cosmologistas assumiram que a expansão inicial do universo era um dado adquirido sem explicação e simplesmente trabalharam nas equações a partir desse ponto [21].

À semelhança do que Einstein fizera, Friedmann desmistificou o complicado “nó” de equações partindo do princípio que o universo era simples nas escalas maiores, que a matéria estava distribuída uniformemente e que a geometria do espaço podia ser descrita unicamente através de um número, a sua curvatura total. Friedmann ignorou os resultados de Einstein e começou do zero. Ao estudar de que forma a matéria e a constante cosmológica afetavam a geometria do universo deduziu que a curvatura total do espaço evoluiria ao longo do tempo. A matéria comum que existia no universo, nas estrelas e nas galáxias espalhadas por todo o lado, forçava o espaço a contrair-se e a colapsar sobre si mesmo. Se a constante cosmológica fosse um número positivo, afastaria o espaço e fá-lo-ia expandir-se. Einstein tinha equilibrado estes dois efeitos, a atração e a repulsão, de modo a que o espaço permanecesse imóvel. Mas Friedmann descobriu que esta solução estática correspondia apenas a um caso especial particular. A solução geral era que o universo tinha de evoluir, contraindo-se ou expandindo-se consoante o papel dominante fosse desempenhado pela matéria ou pela constante cosmológica. Friedmann demonstrou que o universo de Einstein era meramente um dos casos especiais de um leque vastíssimo de comportamentos possíveis para o universo. Os resultados de Friedmann libertaram igualmente a constante cosmológica de Einstein do dever de manter o universo estático e

dado que se o universo evoluía, não havia a necessidade de complicar a teoria com uma solução arbitrária como Einstein fizera.

Mais tarde, Einstein publicou uma correção ao artigo de Friedmann, reconhecendo o principal resultado de Friedmann e admitindo que há soluções variáveis no tempo para o universo. O universo podia efetivamente evoluir na sua teoria da relatividade geral, porém, ainda assim, tudo o que Friedmann fizera fora mostrar que havia soluções para a teoria de Einstein que conduziam a um universo em evolução. Segundo Einstein tratava-se apenas de matemática e não da realidade [21].

## **9. A origem do Universo – Teorias Explicativas**

### **9.1. A origem do Big Bang**

Através da história, astrónomos e não astrónomos usaram várias teorias para explicar o universo, algumas mais científicas que outras, mas a cosmologia moderna é baseada na teoria de Big Bang. Desenvolvida em meados do século XX, ainda é a teoria que melhor explica as propriedades observadas do universo e as leis da física teórica [32].

A teoria do Big Bang não consegue prever as condições iniciais da origem do universo, consegue sim descrever os momentos iniciais após o início da expansão [32].

Nos instantes após o Big Bang o universo estava preenchido por radiação e matéria de muito elevada densidade, constituída inicialmente por aquilo a que os astrofísicos chamam de plasma de quarks e gluões. Mas como se chegou à conclusão de que o universo teve origem num estado em que a densidade e a temperatura eram muito elevadas? Podemos fazer uma analogia entre a evolução do universo e um filme. Se imaginarmos o universo desde o seu nascimento até à atualidade e um filme deste procedimento e depois o visualizarmos em sentido inverso, constatamos que as galáxias que se estão a afastar umas das outras no filme passado em sentido direto, passam a aproximar-se no filme passado em sentido inverso.

Assim, na altura da formação do universo, o material que as constitui estaria totalmente concentrado num ponto e portanto, a densidade tenderia para o infinito. Relativamente à temperatura, verifica-se que à medida que o universo expande vai arrefecendo; portanto o filme passado no sentido inverso mostraria um aumento progressivo da temperatura. É este estado de densidades e temperaturas extremas, a partir do qual se dá a expansão no universo que é habitualmente designado por Big Bang [24]. Assim, a maior parte dos cosmologistas considera que o universo teve a sua origem numa gigantesca explosão inicial, chamada Big Bang e que, desde o seu nascimento, evoluiu até alcançar a forma que hoje apresenta. As observações astronómicas que deram lugar à formulação destes modelos foram realizadas nos finais da década de 20 [22]. No modelo geralmente aceite hoje, todo o espaço em que estão situadas as galáxias expande-se de tal forma que todas as galáxias se afastam cada vez mais umas das outras.

O instante inicial do Big Bang supõe o que os físicos designam como uma singularidade<sup>4</sup>, ou estado de densidade infinita do espaço - tempo, isto é, um ponto (matemático) tal que a sua descrição matemática da geometria espaço-temporal falha por completo. Hoje podemos aproximar-nos mais do que nunca desta época singular graças aos êxitos conseguidos, sobretudo na física de partículas elementares [24]. Na época do Big Bang tanto a constante de Hubble como a densidade média de matéria tinham valores infinitos que, com a expansão subsequente, foram decrescendo de forma constante. A matéria atual é constituída pelas estrelas, as galáxias, o gás e poeira que estas contêm, os quasares, entre outros. Também é possível que exista matéria invisível constituída, por exemplo, por buracos negros ou que algumas partículas, como o neutrino, possuam de facto massa, ao contrário do que se pensava até há pouco [27].

No que respeita à expansão, podemos imaginar que ela pode continuar para sempre, uma vez que, tanto quanto sabemos, não existe barreira no exterior que a impeça. A contração é um assunto diferente. Se o universo se contrair o suficiente, encolherá até ao volume zero, e não pode passar daí. Terá de ser esse o momento zero, o momento em que o universo começou. Este tipo de considerações foi desenvolvido por um astrónomo belga, Georges Lemaître, mesmo antes de Hubble anunciar a sua lei [2]. George Lemaître propôs uma ideia completamente radical para a forma como o universo poderia ter começado. Sugeriu que a matéria do universo estava toda concentrada, comprimida num pequeno volume, e referiu-se a esse pequeno volume ou a essa bolha de massa como ovo cósmico[1]. Este explodira num enorme cataclismo, criando o universo tal como o conhecemos. As galáxias arremessadas para o exterior revelam ainda a força da explosão inicial. O físico George Gamow, que com isto concordava, chamou à explosão do ovo cósmico o Big-Bang [12].

Inicialmente, esta teoria não foi totalmente aceite. Na década de 1940, contudo, Gamow mostrou que, no princípio, o universo deve ter sido muito pequeno e extremamente quente. A radiação por ele emitida deveria ser fortíssima e ter um comprimento de onda extremamente curto. À medida que o universo se expandia e arrefecia, a radiação foi adquirindo gradualmente maior comprimento de onda.

---

<sup>4</sup> Um conceito matemático que pode ser visualizado como uma região do espaço-tempo deformada, onde uma ou mais componentes das equações que descrevem a geometria se tornam infinitas, fazendo que as leis da física vulgares se deixem de aplicar. Pensa-se que o Big Bang surgiu de uma destas singularidades de acordo com a imagem clássica [27].

No momento atual, o universo será tão vasto e tão frio que a radiação deve ter o comprimento de onda das micro-ondas. Como consequência, os astrónomos deveriam detetar um ténue fundo de radiação de micro-ondas, de intensidade idêntica em todas as direções. Na década de 1940, quando Gamow anunciou isto, os astrónomos não possuíam instrumentos capazes de realizar uma tal observação mas a técnica da radioastronomia evoluiu rapidamente. Mais tarde, os físicos Arno A. Penzias e Robert W. Wilson, detetaram a radiação de fundo de micro-ondas e repararam que esta provinha de todas as direções. Desde então, a teoria do Big Bang tem sido geralmente aceite pelos astrónomos[2], sobretudo porque explica três das observações mais significativas em cosmologia: o universo em expansão, a existência da radiação cósmica de fundo de micro-ondas<sup>5</sup> e a origem dos elementos leves [12].

## **9.2. Da época da nucleossíntese primordial à época da recombinação**

George Gamow foi o primeiro a formular a ideia de que, em condições tão extremas como as do universo primitivo, era possível, a partir de uma mistura inicial relativamente simples de partículas elementares, terem-se formado os núcleos dos elementos presentes no universo, através do processo dominado nucleossíntese primordial (época da nucleossíntese primordial). À medida que a temperatura descia, os prótons e os neutrões estabeleceram ligações estáveis e apenas os núcleos atómicos mais leves se formaram desta maneira, como os de hidrogénio (prótons livres) e os de hélio. Os núcleos pesados como os de carbono, oxigénio, entre outros, sabe-se atualmente que tiveram origem através da nucleossíntese que ocorre no interior das estrelas [23].

Para além destes constituintes materiais, o universo continha radiação e por isso dizemos que o conteúdo do universo era constituído por uma componente material e outra radiativa, sendo a radiativa inicialmente superior à material. Com a expansão, as densidades foram diminuindo mas a radiativa mais rapidamente que a material, chegando a um ponto em que se igualaram. Essa época foi designada por época da igualdade entre

---

<sup>5</sup> Radiação eletromagnética difusa parece preencher todo o universo. A sua descoberta teve enorme importância em cosmologia porque forneceu um enorme suporte a favor da teoria do Big Bang [15].

matéria e radiação. O período anterior designou-se por época da radiação e posterior por época da matéria [34].

A forma como o universo evoluiu dependeu da densidade do seu conteúdo energético e como na fase primitiva era a componente radiativa que dominava, foi ela que determinou a forma como evoluiu a expansão [22]. (Figura 4)

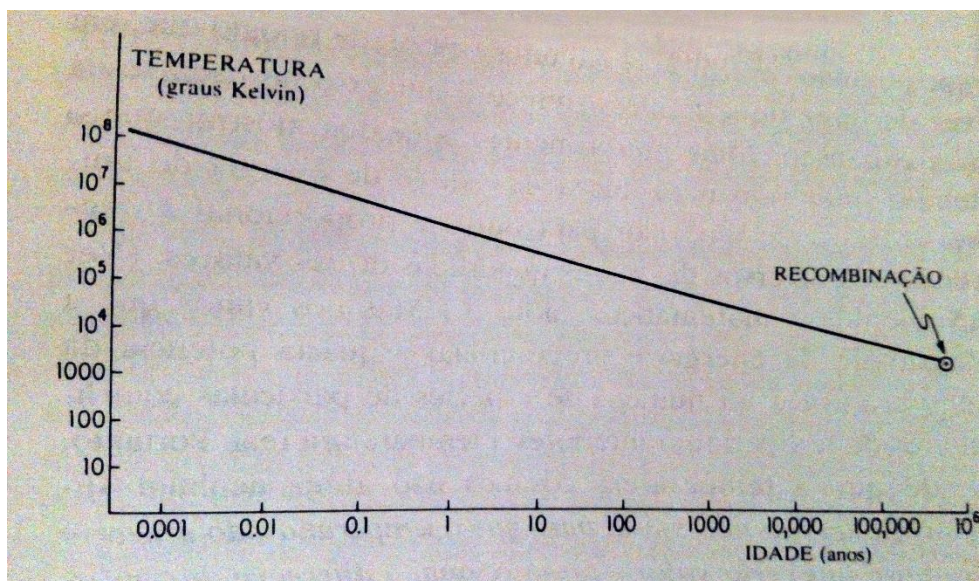


Figura 4 - Gráfico da Temperatura do Universo em função do Tempo, referente ao período entre o fim da nucleossíntese e a recombinação de núcleos e elétrons em átomos (era dominada pela radiação) [34].

E quando a densidade da componente material se tornou superior à da radiativa, passou a governar a forma como evoluiu essa expansão. Nas épocas anteriores os fótons da radiação que preenchiam todo o universo “chocavam” constantemente contra os elétrons (dispersão de Thomson) e essas colisões faziam com que o universo fosse opaco. Na época seguinte, denominada de recombinação, os elétrons foram capturados pelos prótons, formando átomos de hidrogênio neutro. Os fótons da radiação, com menor energia, deixaram de ser capazes de “arrancar” os elétrons aos prótons, ficando assim livres para percorrer grandes distâncias sem qualquer obstáculo, tornando o universo transparente. Foram esses fótons “libertados” na época da Recombinação, que constituem a Radiação Cósmica de Fundo e que podemos detetar em qualquer direção de observação.

Podemos dizer que o universo evoluiu de forma suave durante os processos físicos ocorridos no período que decorreu entre a época da Nucleossíntese e a época da Recombinação. Durante este período os valores de temperatura e densidade, apesar de elevados, já eram bastante menores do que num universo primitivo. Este período é habitualmente denominado por período quente do Big Bang [22]. Gamow explicou como as diferentes partículas se formaram num “Big Bang Quente”. O êxito da nucleossíntese primordial e a observação de radiação de fundo de micro-ondas levaram a especular sobre o que teria acontecido para tempos menores do que um centésimo de segundo, relativamente à abundância das diversas partículas elementares no universo.

### **9.3. O modelo do Big Bang quente**

A temperaturas muito elevadas, as partículas movimentam-se tão depressa que podem escapar a qualquer tipo de atração entre elas, causada pela força nuclear ou eletromagnética mas, à medida que arrefecem, podemos esperar que as partículas fiquem sujeitas a forças atrativas e comecem a aglomerar-se.

À medida que o universo se expandia e a temperatura descia, a taxa a que os pares electrão/positrão estavam a ser produzidos, em colisões, terá diminuído para valores inferiores à taxa com que estavam a ser aniquilados, por isso, a maioria dos electrões e anti electrões ter-se-ão aniquilado para produzir mais fotões, restando um número relativamente residual de electrões.

Cerca de cem segundos após o Big Bang, a temperatura caiu para os mil milhões de graus. Podemos encontrar esta ordem de grandeza de temperaturas no interior das estrelas mais quentes. A esta temperatura, os protões e os neutrões já não têm energia suficiente para escapar à atração da força nuclear forte. Começaram então a combinar-se para produzir núcleos dos átomos de deutério ou de hidrogénio pesado que contém um protão e um neutrão. Os núcleos de deutério combinaram-se então com mais protões e neutrões para produzir núcleos de hélio, que contém dois protões e dois neutrões.

De acordo com este modelo do Big Bang quente, cerca de um quarto dos protões e dos neutrões converteram-se em núcleos de hélio juntamente com uma pequena quantidade

de hidrogénio pesado e de outros elementos. Este modelo também prevê que sejamos capazes de observar a radiação sobrevivente destes primeiros momentos, bastante quentes. No entanto, a temperatura foi reduzida a apenas alguns graus acima do zero absoluto devido à expansão do universo e segundo este modelo não houve tempo suficiente no universo primordial para que o calor se tenha transferido de uma região para outra. Isto significa que as diferentes regiões do universo terão forçosamente nascido com a mesma temperatura para explicar que a radiação de fundo de micro-ondas tenha a mesma temperatura qualquer que seja a direção de observação [17].

#### **9.4. O modelo inflacionário**

Há dois factos para os quais a teoria do Big Bang, tal como a apresentámos até aqui, não tem explicação. O primeiro tem a ver com a homogeneidade do universo. Quando observado em escalas superiores a duzentos milhões de anos-luz, bem superior às dimensões características dos aglomerados de galáxias, o universo é homogéneo. Qualquer que seja a direção em que olhemos, o universo apresenta a mesma distribuição uniforme de glóbulos de matéria. Se esta afirmação é relativamente qualitativa, dada a dificuldade em medir exatamente o conteúdo de matéria do universo, o mesmo não se pode dizer relativamente à medida da radiação cósmica.

A radiação cósmica de fundo do universo é hoje conhecida com grande precisão, resultado de medidas sofisticadas realizadas por equipamento colocado a bordo de satélites artificiais para evitar a interferência da atmosfera terrestre.

Sabe-se ainda que a radiação térmica provém de um estado de equilíbrio no universo e portanto, se este equilíbrio foi atingido, é natural que a radiação em qualquer ponto do universo tenha a mesma temperatura. A questão consiste, justamente, em não se perceber como é que este equilíbrio pode ter sido atingido em todo o universo observável. O modelo do universo inflacionário resolve o problema da homogeneidade do universo porque antes da inflação, o horizonte do universo, ou seja, a distância que qualquer sinal pode percorrer desde o Big Bang, era muito maior do que a esfera correspondente ao universo hoje observável. A homogeneidade da radiação cósmica de fundo é o resultado do equilíbrio térmico estabelecido antes do processo inflacionário [33].

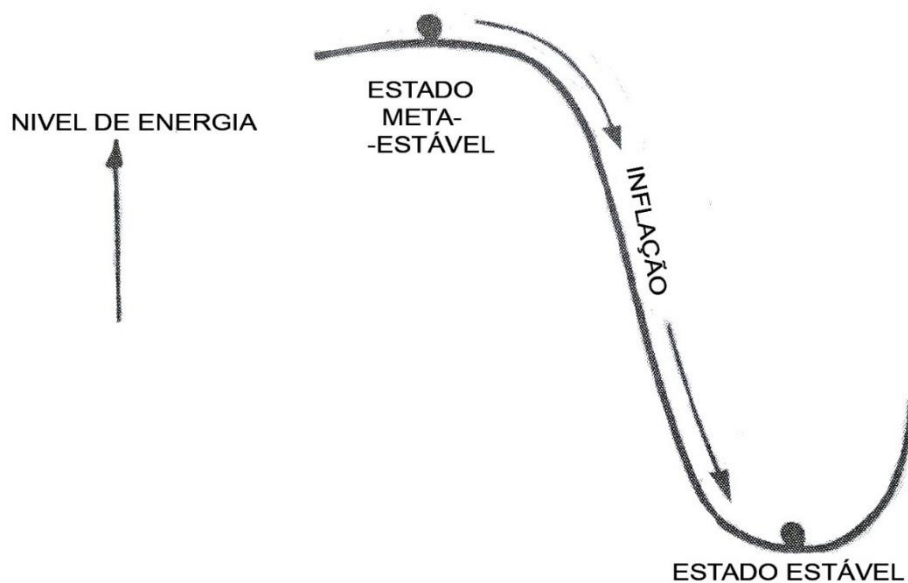


Figura 5 – Transição de fase no Universo [25].

Contudo, a explosão do Big Bang não nos diz nada sobre o que causou a explosão inicial. O que alimentou afinal essa violenta explosão? E quais as forças que fizeram essa projeção?

Para evitar esta dificuldade com as primeiras fases do modelo do Big Bang quente, Alan Guth, propôs um novo modelo, o modelo inflacionário [25].

A teoria da inflação pressupõe que bem antes dos núcleos atômicos serem formados houve uma expansão exponencial do espaço. Esta época inflacionária terá ocorrido entre  $10^{-36}$  e  $10^{-33}$  s após o Big Bang. Apesar de ocorrer num intervalo tão curto, a inflação explica a formação de estruturas, explica porque é que o universo parece tão plano e porque a radiação que observamos hoje apresenta a mesma temperatura. Há quem chame à inflação o Big Bang, ou seja, a poderosa e repulsiva gravidade da inflação foi o “Bang” do Big Bang [23].

A inflação poderia ser testada através da observação.

A teoria prevê que a violenta explosão durante a inflação deixaria uma marca na radiação de fundo. Estas “impressões digitais” formariam um padrão preciso de variações de

temperatura, manchas ligeiramente mais quentes e manchas ligeiramente mais frias. A variação das temperaturas do cosmos correspondem quase exatamente com as previsões da teoria da inflação.

Guth foi quem percebeu que tinha exatamente aquilo que faltava à teoria do Big Bang: um Bang, uma explosão e por isso, a sua descoberta merece o nosso reconhecimento.

O panorama cosmológico que emerge da descoberta de Guth é o seguinte: há muito tempo atrás, quando o universo era enormemente denso, a energia era carregada por um campo de Higgs, instalado num valor afastado do seu ponto mais baixo na tigela de energia potencial. Para distinguir este campo de Higgs específico de outros chamamos-lhe inflatão. Devido à sua pressão negativa, o campo do inflatão gerou uma gigantesca repulsão gravitacional que levou a que uma qualquer região do espaço se afastasse de todas as outras, isto é, o inflatão levou o universo a inflacionar. A repulsão durou apenas cerca de  $10^{-35}$  s, mas foi tão poderosa que, mesmo nesse breve momento, o universo aumenta de tamanho por um fator imenso [16]. Este efeito funciona, no fundo, como a constante cosmológica.

Segundo Guth, o inflatão saiu do planalto de alta energia e o seu valor deslizou para a base da tigela através do espaço, fornecendo o empurrão repulsivo. À medida que o valor do inflatão diminuiu, ele foi cedendo o seu excesso de energia para a produção de partículas de matéria comum e de radiação (Figura 6). Daqui em diante a história é essencialmente a da teoria do Big Bang: o espaço continuou a expandir-se e a arrefecer após a explosão, permitindo que as partículas de matéria se agregassem em estruturas como galáxias, estrelas e planetas, que se dispuseram lentamente de forma a originar o universo que vemos correntemente. A descoberta de Guth, batizada por cosmologia inflacionária, proporcionou uma explicação sobre o que fez com que o espaço se expandisse inicialmente.



Figura 6- a) Um campo de Higgs superarrefecido é um campo cujo valor fica no “planalto” de alta energia da tigela. b) Um campo de Higgs superarrefecido descobrirá rapidamente a forma de sair do “planalto” e cair para um valor de energia mais baixo[16].

A descoberta de Guth foi rapidamente considerada como um avanço importantíssimo e tornou-se um aspeto dominante da investigação cosmológica. Primeiro, no modelo convencional do Big Bang, a explosão ocorreu supostamente no tempo zero, no exato começo do universo, que é portanto encarado como o evento de criação. Mas, a explosão, na cosmologia inflacionária, só ocorreu quando as condições foram adequadas, isto é, quando houve um campo de inflatão cujo valor constituiu a energia e a pressão negativa que provocou o empurrão de gravidade repulsiva e esse acontecimento não precisa de coincidir com a “criação” do universo. Por esta razão devemos pensar na explosão inflacionária como um evento que ocorreu num universo pré-existente, mas não necessariamente como o evento que criou o universo [24].

Uma segunda observação relacionada com esta é que a cosmologia inflacionária não é uma teoria única. Pelo contrário, é uma estrutura cosmológica construída em redor da conclusão de que a gravidade pode ser repulsiva e pode assim causar uma expansão do espaço.

Pode inferir-se que o Big Bang não é uma explosão que tenha ocorrido no sítio de uma expansão espacial pré-existente, e é por isso que também nos perguntamos onde explodiu. A descrição cósmica da “deficiência” do Big Bang que usamos é devida a Alan Guth.

A expressão Big Bang é por vezes usada para denotar o evento que aconteceu no próprio tempo zero, fazendo o universo começar a existir. Mas visto que as equações da relatividade geral deixam de funcionar no tempo zero, ninguém sabe o que foi realmente

este evento. É a esta omissão que nos referimos ao dizer que a teoria de Big Bang deixa de fora o Bang [32].

A cosmologia inflacionária faz uso dessas equações bem comportadas para revelar uma breve expansão explosiva do espaço, que tomamos naturalmente como sendo o Bang deixado de fora pela teoria de Big Bang. É claro, no entanto, que esta abordagem não responde à questão daquilo que acontece no momento inicial da criação do universo se é que de facto houve um tal momento!

Mas qual terá sido a causa deste notável comportamento do universo inicial, esta enorme inflação?

O comportamento dinâmico da geometria do universo é governado pelas equações de Einstein que relacionam a curvatura do espaço com as propriedades da matéria nesse espaço. No modelo do Big Bang a matéria foi representada por um gás de todas as partículas quânticas, não tendo as propriedades deste gás originado uma fase inflacionária.

Os físicos habitualmente consideram “nada”, aquilo a que chamam estado de vácuo, é o estado correspondente ao valor mais baixo possível da energia total para um determinado sistema físico. Tal sistema físico poderia ser o sistema solar, uma galáxia ou o universo inteiro. O espaço plano e vazio encaixa nesta descrição de estado de vácuo. Mas, se pusermos qualquer coisa nesse estado de vácuo, como um eletrão ou um fóton, a sua energia total aumenta e deixa de ser um estado de “nada”; não está vazio.

Se definirmos vácuo como o estado para o qual todas as grandezas conservadas fisicamente são zero, então concluímos que o universo inteiro poderia ser equivalente a “nada”. No entanto, se examinarmos esta sugestão de perto, descobrimos que, de facto, o universo poderia ser equivalente a um estado de “nada” e portanto, é possível que o nosso universo tenha tido origem no vácuo [16].

#### **9.4.1. A inflação e o problema do horizonte**

No Big Bang habitual, a gravidade só age como uma força atrativa e assim, desde o começo, tem vindo a agir para retardar a expansão do espaço. Assim, como na teoria convencional do Big Bang a gravidade retarda a expansão do espaço, em qualquer ponto no filme cósmico temos de recuar mais de metade em direção ao começo para reduzir para metade a separação entre duas regiões.

Os físicos definem o horizonte cósmico como as zonas do espaço circundante mais distantes que estão suficientemente próximas da região em questão para terem trocado sinais de luz no tempo que decorreu desde o Big Bang [12].

Assim o problema do horizonte é que há regiões que nunca poderiam ter interagido ou exercido qualquer tipo de influência uma sobre a outra, mas têm de alguma forma temperaturas idênticas [16].

O problema do horizonte não implica que o modelo convencional do Big Bang esteja errado mas pede uma explicação. A cosmologia inflacionária proporciona uma. Em cosmologia inflacionária, houve um breve instante durante o qual a gravidade foi repulsiva e isso fez que o espaço se expandisse muito rapidamente. No entanto, antes de se dar esta expansão exponencial o universo era muito pequeno e ligado de forma causal. Assim, neste período as propriedades físicas tornaram-se aproximadamente uniformes. Quando a inflação expandiu o universo de forma muito rápida, a uniformidade ficou como que “congelada” a grandes distâncias. É assim que a cosmologia inflacionária explica a uniformidade da radiação de fundo de micro-ondas que contempla o espaço [3].

#### 9.4.2. A inflação e o problema da planura

Um segundo problema tratado pela cosmologia inflacionária tem a ver com a forma do espaço.

Desde os primeiros dias da relatividade geral que os físicos se aperceberam de que a totalidade de matéria e energia numa região do espaço, a densidade de matéria/energia, determina a sua curvatura. Se a densidade de matéria/energia é elevada, o espaço dobra-se sobre si próprio até ficar com a forma de uma esfera, ou seja, haverá curvatura positiva. Se a densidade de matéria/energia for baixa, o espaço deforma-se para fora como uma “sela”, ou seja, haverá curvatura negativa. E também pode acontecer, para um caso muito especial da densidade de matéria/energia, a densidade crítica, igual à massa de cerca de cinco átomos de hidrogénio por metro cúbico (cerca de  $10^{-23}$  g/m<sup>3</sup>), que o espaço fique entre estes dois extremos e seja plano [16].

As equações da relatividade geral, que são a base do modelo convencional do Big Bang, mostram que, se a densidade de matéria/energia no começo tivesse sido exatamente igual à densidade crítica, então ficaria igual à densidade crítica durante a expansão do espaço. Mas, se a densidade inicial de matéria/energia se tivesse desviado da densidade crítica por pouco que fosse, então a expansão subsequente tê-la-ia levado a valores muito afastados da densidade crítica.

O problema da planura é que, de facto, a densidade atual é tão próxima da densidade crítica que, o erro experimental atual implica que a densidade inicial teria de ser a crítica com uma precisão de 1 para  $10^{62}$  ou menos. O problema da planura é portanto saber porque é que o universo foi criado com esse valor tão particular.

Salienta-se que o problema da planura não mostra de forma nenhuma que o modelo convencional do Big Bang esteja errado [32]. Todavia, sublinha a sensibilidade extrema deste modelo a condições no passado longínquo das quais sabemos muito pouco: mostra como a teoria tem de assumir que o universo era exatamente assim para funcionar [22].

Enquanto a gravidade atrativa amplifica qualquer desvio da densidade de matéria/energia crítica, a gravidade repulsiva da teoria inflacionária faz o contrário; reduz qualquer desvio da densidade crítica.

Em cosmologia inflacionária, o espaço foi esticado por um fator enormíssimo que o universo observável, a parte que podemos ver, é apenas um pequeno pedaço de um cosmos gigantesco [22].

A expansão inflacionária assegurou que a parte do espaço a que temos acesso foi levada a assumir uma forma plana, e que a densidade de matéria/energia a que temos acesso foi levada ao valor crítico. A razão fundamental para que assim seja é que a densidade de energia associada ao campo que originou a inflação se manteve constante à medida que o espaço se expandia. As equações da cosmologia implicam então que a densidade do universo no fim da época da inflação teve de ser igual à densidade crítica a menos de um infinitésimo. A expansão do universo após o período inflacionário fez essa densidade divergir do valor crítico e o erro atual de 1% é consistente com esta explicação.

Uma analogia que nos ajuda a compreender a explicação inflacionária é a seguinte: quando enchemos de ar um balão, a sua superfície fica cada vez menos curva à medida que ele se vai dilatando. E vai-se aproximando cada vez mais de uma superfície plana. A mesma coisa acontece com a curvatura do espaço-tempo à medida que este se expande por inflação. Qualquer que tenha sido a sua curvatura inicial, na altura em que o espaço-tempo se expandiu já não se pode distinguir de um universo plano. Qualquer universo curvo passa a ser, tanto quanto as informações de que dispomos nos dizem, um universo plano com uma densidade muito próxima do valor crítico no momento em que atingiu o tamanho da ordem de grandeza de uma laranja [12].

## 10. Modelo Padrão e Bosão de Higgs

O modelo Padrão é extremamente bem sucedido na descrição de fenômenos experimentais aos quais se tem acesso presentemente. Inclui três das quatro interações fundamentais (a força nuclear forte, a força nuclear fraca, a força eletromagnética, mas não inclui a gravidade) e todas as partículas elementares conhecidas.

Embora as quatro forças ou interações fundamentais fossem bem conhecidas nos anos de 1960, cada uma delas dependia de partículas mediadoras muito diferentes, também designadas por bosões mediadores ou bosões de Gauge, o fóton, o glúon e os bosões W e Z.

O modelo Padrão da física de partículas reconhece estes quatro tipos de bosões mediadores, como sendo forças responsáveis pelas principais interações entre as partículas elementares da natureza. Os fótons transportam a informação nas interações eletromagnéticas, os glúons ligam os quarks entre si através da força nuclear forte e os bosões W e Z transportam as forças nucleares fracas. Os fótons não têm massa, enquanto que os bosões W e Z são muitíssimo pesados, existindo assim uma grande diferença entre eles. Esta disparidade tornou-se bastante evidente visto que as teorias das forças eletromagnética (que descreve as interações dos fótons com a matéria) e fraca (responsável pelo decaimento das partículas quânticas) podiam ser combinadas numa teoria electrofraca. Esta teoria não previa que as partículas de força nuclear fraca, os bosões W e Z, tivessem massa, devendo ser como o fóton, sem massa, isto é, os mediadores das forças não deveriam ter massa.

Poder-se-ia atribuir massa aos bosões W e Z no âmbito da teoria existente. O problema é que essa atribuição de massa quebraria a chamada simetria de Gauge (simetria que envolve a invariância de um sistema físico sob várias transformações de carga e força, transformações essas que podem variar de lugar para lugar e de momento para momento, é um princípio basilar sobre o qual a moderna teoria de campo foi construída) [15].

Os teóricos Robert Brout, François Englert e Peter Higgs apresentaram uma proposta para resolver este problema. O mecanismo Brout-Englert-Higgs, também designado por mecanismo de Higgs, confirma a massa dos bosões W e Z quando interagem com um campo invisível, agora chamado de "campo de Higgs" [107].

Os cientistas acreditam que o universo começou num estado de simetria perfeita. Todavia, sabemos que a vida não podia existir neste estado perfeito e para que a mesma fosse possível, a simetria do universo teve de quebrar-se espontaneamente à medida que este ia arrefecendo. A noção de simetria quebrada explicava como era possível as forças fundamentalmente unificadas e simétricas se manifestarem tão diferentemente na natureza [25].

De modo semelhante, o modelo Padrão está contruído sobre a assumpção de simetrias para os campos. A primeira sugestão de que essas simetrias podiam quebrar-se espontaneamente proveio do trabalho de Peter Higgs e dos seus colegas. E em 1965 Higgs e Englert receberam, a 8 de outubro de 2013, o prémio Nobel da Física pela descoberta teórica do mecanismo de Higgs que contribui para a compreensão da origem da massa das partículas subatómicas e que recentemente foi confirmado no ATLAS e CMS no LHC do CERN [25].

De acordo com o mecanismo de Higgs seria possível atribuir massa aos bosões W e Z sem quebrar essa simetria, isto é, abaixo de temperaturas extremamente elevadas o campo causa quebra espontânea de simetria durante as interações. Essa quebra aciona o mecanismo de Higgs [25].

Segundo o modelo Padrão, quanto maior for a interação de bosões mediadores (Gauge) com o campo de Higgs, maior será a massa dessas partículas, e daí que os bosões W e Z tenham uma massa elevada e o fóton por não interagir, não apresente massa.

Como todos os campos fundamentais, o campo de Higgs tem uma partícula associada - o bosão de Higgs, que é a manifestação visível do campo de Higgs [108].

Assim sendo, o modelo Padrão foi denominado um modelo incompleto não só porque não inclui a gravidade e apresenta alguns problemas experimentais mas também porque depende da introdução de uma partícula adicional, o chamado bosão de Higgs.

O bosão de Higgs é uma partícula fundamental da natureza, de spin inteiro, pertencente a um grupo restrito e a um tipo muito especial de partícula. A física moderna conhece três tipos de partículas, as partículas de matéria, como electrões e quarks, que constituem os átomos que compõem tudo aquilo que vemos; as partículas de forças que transportam a gravidade, o eletromagnetismo e as forças nucleares, que mantêm as partículas de matéria juntas e existe também o Higgs que forma a sua própria categoria [6].

O bóson de Higgs representa a “chave” para validar o modelo Padrão e explicar a origem da massa das partículas elementares da natureza e devido a este facto a procura do bóson de Higgs foi a principal motivação para o investimento feito na construção do LHC.

Tudo indica que o Higgs foi detetado experimentalmente. Tal facto só foi possível porque os aceleradores estão a ficar cada vez mais poderosos e conseguem alcançar as energias que as partículas tinham alguns instantes após o Big Bang. Esta nova partícula é pesada, tem massa de  $126 \text{ GeV}$ , apresenta um tempo de vida muito curto e é consistente com o bóson de Higgs [25].

Em suma, de acordo com o modelo Padrão, os bósons W e Z ganham massa através do mecanismo de Higgs (em virtude da quebra espontânea de simetria) e o bóson de Higgs foi inserido no modelo Padrão para fornecer esse mecanismo de obtenção de massa de todas as partículas massivas [108].

Poder-se-á dizer que o bóson de Higgs é a peça final do modelo – padrão, mas este modelo não será certamente o fim do caminho. A matéria escura é apenas uma indicação de que há muito mais física por compreender. O bóson de Higgs poderá servir de elo de ligação entre o que conhecemos e o desconhecido.

Nos próximos anos, o bóson de Higgs será usado para procurar a matéria escura, a supersimetria (abordada no capítulo 13), as dimensões adicionais e quaisquer outros fenómenos que precisem de se ajustar a novos dados que rapidamente surgirão. A descoberta de Higgs é o fim de uma era mas o início de outra [6].

## **11. Buracos negros e Stephen Hawking**

### **11.1. Buracos negros**

Em 1916, Karl Schwarzschild foi quem primeiramente encontrou uma solução das equações da relatividade geral correspondente a um buraco negro.

Todavia, mais tarde, Robert Oppenheimer, que não estava particularmente interessado em relatividade geral (acreditava nela como físico que era) fez uma das previsões mais estranhas e exóticas da teoria de Einstein: a formação de buracos negros na natureza. E em 1939 descobriu uma solução estranha e incompreensível para a teoria da relatividade geral: mostrou que se uma estrela fosse suficientemente grande e densa iria colapsar e desaparecer de vista. A estranha conclusão de Oppenheimer, decorrente das teorias de Einstein, não teve grande aceitação numa fase inicial.

A existência de buracos negros era uma solução válida na teoria da relatividade geral de Einstein. Mas será que existia realmente na natureza?

John Archibald Wheeler ficara perplexo com a previsão de Oppenheimer de que o fim do colapso gravitacional desse tipo de estrelas podia ser uma singularidade, um ponto de densidade e curvatura infinitas. Para Wheeler essas singularidades não faziam sentido. Wheeler propôs que se conseguisse comprimir um feixe de raios de luz de forma a deformar suficientemente o espaço e o tempo, estes assemelhar-se-iam a uma massa. O feixe de luz teria peso e atrairia outros feixes de luz. Os raios de luz teriam de ser enrolados numa bobina e podiam ser facilmente separados mas teriam o efeito de massa sem efetivamente haver massa. Wheeler apresentou as suas ideias para revolucionar a física através da relatividade. Levaram a relatividade mais além do que alguma vez imaginado, ao ponto de se considerar rotação sem rotação, carga sem carga, inclusivamente partículas elementares sem partículas elementares [18].

Em 1990, Kip Thorne sugeriu que poderia ser possível viajar para o passado através de buracos de verme. Os buracos de verme são estruturas topológicas do espaço-tempo que, hipoteticamente, poderiam ligar dois pontos muito afastados à maneira de um atalho. Estas estruturas são consistentes com a relatividade geral e, efectivamente, constituem

uma das soluções possíveis. Dai que Thorne tenha pensado que valia a pena investigar se as viagens no tempo seriam permitidas pelas leis da física [19].

Na teoria de Newton, o tempo era absoluto e avançava inexoravelmente. Não havia recuos, regressos ao passado. Einstein nunca aceitou os buracos negros ou que a matéria pudesse ser comprimida até atingir uma densidade infinita [21]. No entanto, a situação alterou-se quando Einstein formulou a sua teoria geral da relatividade, em que o espaço - tempo era curvado e distorcido pela matéria e energia do universo. O tempo continuava a avançar localmente, mas havia agora a possibilidade do espaço-tempo poder ser de tal forma deformado que nos poderíamos mover por uma via que nos levaria a um ponto anterior àquele de onde tínhamos partido [18].

Se conseguíssemos de algum modo sobreviver às marés gravitacionais e ao fluxo da radiação e se o buraco negro estivesse a girar, uma das possibilidades que nos permitiria fazer isto seriam os buracos de verme, que poderiam ligar diferentes regiões de espaço e tempo. A ideia é que seria possível entrar numa ponta do buraco negro e sair na outra ponta, num lugar e tempos diferentes. Se existissem, os buracos de verme seriam ideais para viajar rapidamente no espaço [29].

A verdadeira questão consiste em saber se as leis da física permitem que os buracos de verme e o espaço-tempo sejam de tal forma dobrados que um corpo macroscópico, como uma nave espacial, possa regressar ao seu próprio passado. Segundo a teoria de Einstein, uma nave espacial viaja necessariamente abaixo da velocidade da luz nesse meio e segue aquilo a que se chama uma trajetória de tipo tempo pelo espaço-tempo. Deste modo, podemos formular a seguinte questão: será que o espaço - tempo admite curvas fechadas de tipo tempo, isto é, curvas de tipo tempo que regressam continuamente ao seu ponto de partida?

Podemos tentar responder a esta questão segundo três níveis. O primeiro é a teoria geral da relatividade, de Einstein. É aquilo a que se chama uma teoria clássica, ou seja, concebe o universo como uma história bem definida, sem quaisquer incertezas. No quadro da relatividade geral clássica, temos uma imagem mais ou menos completa do modo como as viagens no tempo podem funcionar. No entanto, sabemos que a teoria clássica não pode descrever de forma completa o universo, pois observa-se que a matéria está sujeita a flutuações, não podendo o seu comportamento ser previsto de uma forma extremamente rigorosa [21].

O cenário original para a inflação era que o universo começou com a singularidade do Big Bang. À medida que o universo se expandia, devia, de certa maneira, alcançar um estado inflacionário. Contudo, esta explicação era insatisfatória, pois todas as equações falhariam numa singularidade. No entanto, a não ser que se conhecesse o que saiu da singularidade inicial, não se podia calcular o modo como o universo se desenvolveria. A cosmologia não teria qualquer poder de previsão. O que era necessário era um espaço-tempo sem singularidade, como na versão euclidiana de um buraco negro.

Segundo Kip Thorne, a relatividade geral clássica não se aplicava às singularidades no Big Bang e nos buracos negros. Mais tarde mostrou como a teoria quântica pode prever o que acontece no princípio e no fim do tempo. Este autor sugeriu também que é bem possível que todo o universo seja em si mesmo um buraco negro [1].

Para compreendermos como pode formar-se um buraco negro precisamos primeiramente compreender o ciclo de vida de uma estrela. Uma estrela forma-se quando uma grande porção de gás (sobretudo hidrogénio) se contrai por causa da atração gravitacional das suas partes. À medida que o gás se contrai, aquece, pois os seus átomos colidem uns com os outros, cada vez com maior frequência e a velocidades progressivamente maiores. A certa altura, o gás estará tão quente que, quando os átomos de hidrogénio colidem, já não ressaltam uns nos outros, mas fundem-se para formar hélio (fusão nuclear). O calor libertado nesta reação, que é do mesmo tipo da que se dá na explosão de uma bomba de hidrogénio, faz a estrela brilhar. O calor adicional aumenta a pressão do gás, que acaba por equilibrar a atração gravitacional e deixa de se contrair. É semelhante a um balão: há um equilíbrio entre a pressão do ar dentro dele, que tende a dilatar o balão e a tensão da borracha, que tende a tornar o balão mais pequeno. As estrelas permanecem estáveis durante muito tempo, com o calor das reações nucleares a equilibrar a atração gravitacional. A certa altura, porém, a estrela esgotará o hidrogénio e outros combustíveis nucleares. Paradoxalmente, quanto maior for a porção de combustível com que a estrela começa, mais depressa este se esgotará. Isto sucede porque, quanto mais maciça for a estrela, mais quente precisará de estar para equilibrar a atração gravitacional. E, quanto mais quente estiver, mais depressa gastará o combustível. O nosso sol tem, provavelmente, combustível suficiente para mais 5000 milhões de anos, mas as estrelas mais maciças podem esgotar o seu combustível em tão pouco tempo como 100 milhões de anos. Quando uma estrela esgota o combustível, começa a arrefecer e, portanto, a

contrair-se. O que pode acontecer-lhe só foi compreendido pela primeira vez no fim dos anos 20 [19].

Ao contrário do que se passa com as anãs brancas e as estrelas de neutrões, não existem provas universalmente aceites sobre a existência dos buracos negros, embora muitos astrónomos estejam convencidos de que devem existir e alguns acreditem até que já foram encontrados. Os buracos negros são uma previsão da teoria da relatividade geral de Einstein (como já foi referido anteriormente), a moderna teoria da gravidade. A teoria da gravidade geral foi testada experimentalmente com grande êxito. No entanto, alguns críticos dirão que as verificações experimentais, apesar do sucesso, foram todas realizadas para campos gravitacionais fracos e que a teoria nunca foi verificada para campos gravitacionais muito intensos (do tipo que se poderá encontrar nos buracos negros). Todavia, se a teoria se aplicar realmente a esses campos fortes, então teremos de concluir que os buracos negros são uma consequência do colapso das estrelas de grande massa. A descrição adequada das propriedades dos buracos negros é dada pela teoria da relatividade geral de Einstein, que especifica a curvatura do espaço associada aos campos gravitacionais.

A expressão buraco negro foi criada em 1969 pelo físico John Wheeler, mas surpreendentemente, é uma ideia com cerca de dois séculos. Naquela altura havia duas teorias sobre a luz. Uma dizia que a luz era composta por partículas e outra dizia que a luz era composta por ondas. Segundo a teoria ondulatória, a luz não poderia estar sujeita à influência da gravidade. No entanto, se a luz fosse composta por partículas, esperaríamos que estas fossem atraídas pela gravidade da mesma forma que os planetas. John Michell, professor em Cambridge durante o século XVIII, antecipou então que uma estrela compacta e com massa suficiente criaria um campo gravítico tão forte que nem a luz poderia escapar-lhe. Qualquer luz emitida pela superfície da estrela seria trazida de volta pela atração gravítica antes de se poder afastar significativamente. Daí que Michell tenha sugerido que poderia haver muitas estrelas nessas condições, embora não as pudéssemos observar, uma vez que a luz por elas emitida nunca chegaria até nós, sentiríamos a atração gravítica. Segundo as suas estimativas, uma estrela com massa 500 vezes superior à do nosso Sol estaria nessas condições. A especulação de John Michell ficou esquecida durante mais de cem anos, até que postumamente se lhe atribuiu o mérito devido.

Poder-se-á dizer que um buraco negro é uma região do espaço-tempo em que a atração gravitacional é de tal forma forte que nada pode escapar para o seu exterior, incluindo partículas e radiação eletromagnética. A existência destas regiões é compatível com as equações da teoria da relatividade geral, que prevê que uma massa suficientemente grande pode deformar o espaço-tempo para formar um buraco negro. A fronteira desta região delimita a zona sem retorno, ou seja, a zona a partir da qual nenhuma partícula (incluindo fótons) se pode evadir. Esta fronteira é chamada de horizonte de eventos.

Apenas alguns meses após a publicação da teoria da relatividade Karl Schwarzschild encontrou uma solução que descreve o campo gravitacional para os casos de massas pontuais e massas esféricas [113]. Esta solução apresenta um comportamento singular numa zona do espaço a que chamamos hoje de raio de Schwarzschild, pois nessa zona alguns dos termos da equação tornam-se infinitos. Nessa altura o significado desses infinitos não era claro, talvez não mais do que uma consequência de a solução deixar de ser válida. Eddington mostrou em 1924 que afinal a singularidade se devia ao sistema de coordenadas adoptado e que desaparece se se escolher outro sistema de coordenadas [114]. Especulou ainda sobre a possibilidade de uma estrela poder ser comprimida até ao raio de Schwarzschild, o que já antecipava a ideia de buraco negro como a que temos hoje.

Os últimos passos que levaram ao conceito de buraco negro praticamente na forma como o compreendemos hoje foram dados por Chandrasekhar e Oppenheimer. Chandrasekhar calculou, em 1931, que um corpo de matéria degenerada (em que os electrões estão todos fora dos átomos e a matéria é constituída apenas por electrões e núcleos positivos) não apresenta soluções estáveis a partir de um certo limite (cerca de 1.4 vezes a massa solar) [115]. Com isto quer-se dizer que a pressão interna desta matéria degenerada não é suficiente para compensar a atração gravitacional e que esta dominará sem nenhum mecanismo que a compense.

Na verdade as estrelas com massas entre aproximadamente 1.4 e 3 massas solares colapsarão para um estado final de estrela de neutrões, pois nesta gama de massas a pressão interna da matéria composta de neutrões ainda é suficiente para evitar o colapso total. Foi Oppenheimer que mostrou que para lá de três massas solares nada pode impedir o colapso num buraco negro, isto é, mostrou que estrelas suficientemente massivas podem colapsar para um buraco negro [116].

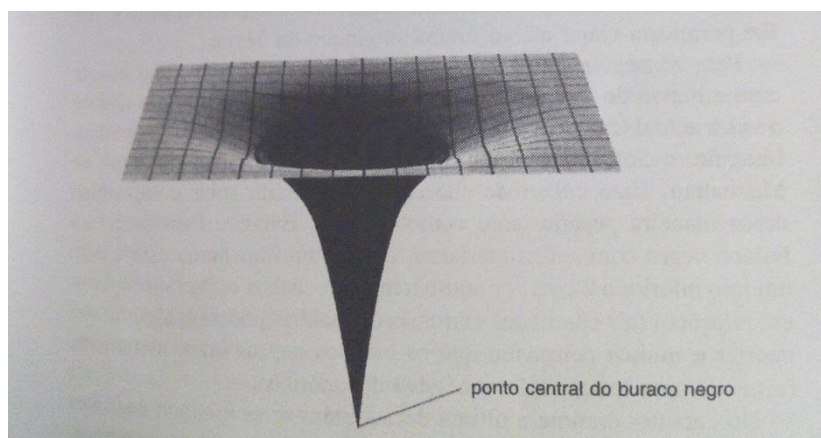


Figura 7 - Um buraco negro curva o tecido do espaço-tempo à sua volta tão fortemente que qualquer coisa que penetre no seu “horizonte” deixa de conseguir escapar à influência gravitacional [15].

Há até a sugestão de que os buracos negros centrais são provavelmente os criadores de galáxias e não os devoradores. O buraco negro está todavia a “engolir” matéria e apesar de o fazer lentamente não seria confortável estar perto de um deles.

Os buracos negros devem radiar, tal como os corpos quentes, se as conceções da relatividade geral e da mecânica quântica estiverem certas [15]. A explicação em mais detalhe será dada no capítulo seguinte.

## 11.2. Stephen Hawking

Stephen Hawking, nascido a 8 de janeiro de 1942, exatamente 300 anos após a morte de Galileu, é um físico teórico, cosmologista, autor e diretor de investigação do centro de Cosmologia Teórica na Universidade de Cambridge [18].



Figura 8 - Stephen William Hawking [18].

Era chamado pelos amigos de “Einstein” e quando iniciou a sua investigação, as áreas que o atraíram foram a física de partículas elementares e a cosmologia. Depois de ter iniciado o seu doutoramento, em cosmologia, Hawking disse: “Se compreendermos o modo como o universo funciona, podemos, de certa maneira, controlá-lo” [18].

À medida que lutava contra as manifestações progressivas da sua doença, o seu interesse foi aumentando exponencialmente e conseguiu demonstrar que, de facto, um universo em expansão, sob condições normais teria começado com uma singularidade. Ao longo dos anos, juntamente com George Ellis, provou que um universo com radiação devia ter começado num estado singular. Atualmente os seus trabalhos científicos incluem uma colaboração com Roger Penrose em teoremas de singularidade gravitacionais no âmbito da relatividade geral e a previsão teórica de que buracos negros emitem radiação, muitas vezes designada por radiação de Hawking.

Este cientista deu em menos de duas décadas de investigação imensos contributos que abrangem o nascimento do universo e a física dos buracos negros. Foi o primeiro a estabelecer uma cosmologia baseada na união da teoria geral da relatividade e com a mecânica quântica, sendo também defensor da interpretação de muitos mundos da mecânica quântica. A sua descoberta suprema foi a comprovação de que os buracos negros emitem radiação, têm entropia e temperatura e que acabarão por evaporar-se.

### 11.3. O universo de Hawking

A compreensão dos mistérios associados à criação do universo depende em grande parte de se conseguir perceber o que aconteceu na pequena fração de segundo antes do tempo em que o modelo padrão cosmológico é considerado (nesse sentido é antes do próprio Big Bang). Para compreender esse período da história cósmica já não bastam as leis da física que tanto apoiaram na interpretação da subsequente evolução do universo. Precisamos, além destas, das leis da física quântica – da física do muito pequeno, e especialmente, das regras que se aplicam às partículas e à radiação a densidades energéticas muito elevadas. Antes de fazermos uma retrospectiva no tempo, antes do Big Bang, devemos fazer uma pausa para vermos quais são essas regras quânticas e para compreendermos os seus mistérios [18]. Nos começos do século XX deu-se um avanço científico significativo que nos deu uma perspectiva sobre o comportamento da matéria em escalas muito pequenas (no interior do átomo) e em energias muito elevadas, onde a matéria e a energia se podem converter uma na outra, tal como Einstein previra. É a física quântica. Quando tentamos colocar questões sobre a verdadeira origem do universo, retirando-as do âmbito da metafísica e trazendo-as para o da ciência, a relatividade geral só por si é inadequada para isto, e precisamos também da física quântica para descrever os acontecimentos altamente energéticos que ocorreram num pequeno volume do espaço, numa fração de segundo, há uma imensidade de tempo. Antes de 1900, os físicos consideravam o mundo material como sendo constituído por objetos pequenos e duros, os átomos e as moléculas. Por outro lado, a propagação da luz sob a forma de onda eletromagnética, era explicada pela teoria ondulatória. A gravidade era um pouco mais misteriosa. Mas em traços largos, a divisão do mundo em partículas e ondas parecia ser muito nítida, e parecia estar à vista o fim da física teórica e a solução de todos os grandes enigmas [12]. No entanto este “castelo” teórico começou a desmoronar-se. Verificou-se que nuns casos o comportamento da luz podia ser explicado apenas em termos de partículas (os fótons), enquanto noutras circunstâncias o modelo ondulatório era o único válido. Pouco depois os físicos aperceberam-se de que, como se não bastasse o fato de as ondas por vezes se comportarem como partículas para lhes causarem aborrecimentos, ainda havia ocasiões em que as partículas podiam comportar-se como ondas. E entretanto, Einstein dava uma reviravolta a tudo quanto se conhecia sobre a natureza do espaço, tempo e gravidade com as suas teorias da relatividade. No final da década de 1920, os

físicos criaram uma nova imagem do mundo, muito diferente da anterior. Esta nova imagem ainda é a base da que temos hoje. E diz-nos que não há partículas ou ondas puras, mas sim, a nível fundamental, apenas aquilo que pode ser considerado como uma mistura de ondas e partículas, e que é por vezes referida como sendo uma “ondícula”. Diz-nos que não é possível prever com certeza absoluta qual o resultado de uma experiência atômica e nem mesmo o de qualquer acontecimento que se passe no universo e que o nosso mundo é governado pelas possibilidades. E diz-nos também que é impossível saber simultaneamente a posição e a quantidade de movimento exatos de um objeto [12].

A física quântica tem uma base sólida e está tão confirmada por experiências e observações como a teoria da relatividade geral. As duas em conjunto dão-nos a melhor descrição disponível para os fenómenos do universo. Hawking desenvolveu uma abordagem baseada no conceito de função de onda, tal como é definida da mecânica quântica. Esta função descreve a totalidade do universo e é trabalhada, da mesma maneira que qualquer outra função de onda na física quântica.

No início dos anos 60, Hawking começou a ocupar-se das singularidades, ocupação esta que continua a estar no centro de todas as suas principais contribuições para a ciência e que é a chave da compreensão do próprio momento da criação. Ele estava, e continua a estar fascinado pela ideia de uma singularidade matemática, que é um ponto onde não só a matéria mas também o espaço e o tempo são esmagados e deixam de existir ou então, como no caso do Big Bang, é o ponto onde são criados. As equações padrão da teoria da relatividade prevêem a existência de singularidades, mas nos começos da década de 1960 praticamente ninguém levava esta previsão a sério. As singularidades eram consideradas como uma indicação de que a versão mais simples da teoria de Einstein (com uma distribuição contínua da matéria no espaço-tempo), não era uma forma realista de descrever a confusão de um estado superdenso, e que um melhor conhecimento das equações mostraria provavelmente que, à medida que um objeto em colapso se aproxima de uma singularidade, teria que haver em algum momento um “salto” para trás, fazendo com que se expandisse outra vez, ou qualquer outro efeito que parasse o colapso já muito perto de um ponto de densidade infinita. Ou se passava isto, ou então a teoria de Einstein era incompleta e falharia quando a densidades muito elevadas, isto é, em campos gravitacionais muito fortes [19].

Na década de 1970, as investigações de Hawking da matemática dos buracos negros levaram, por via da introdução dos efeitos quânticos, à inesperada conclusão de que os buracos negros se podem evaporar e eventualmente têm que explodir [18].

Aquilo que Hawking e Bekenstein mostraram efetivamente foi que a entropia de um buraco negro era proporcional à área da superfície do seu horizonte de acontecimentos - a fronteira do buraco. Uma vez que de acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia, ou aumenta sempre, ou mantém-se constante, parece que os buracos negros têm sempre de aumentar a área de superfície e, portanto, tornam-se sempre cada vez maiores. Tudo indica não haver maneira de nos livrarmos de um buraco negro. Todavia, esta conclusão não é verdadeira. Facto assinalável, um buraco negro entregue a si mesmo acabará por evaporar-se em radiação. Como podemos compreender isto? No seguimento dos estudos da termodinâmica dos buracos negros, Hawking constatou que era possível atribuir a um buraco negro uma temperatura inversamente proporcional ao seu raio. Compreendeu ainda que qualquer objeto cuja temperatura é não nula deve emitir radiação, tal como o carvão quente emite luz. Mas toda a ideia de um buraco negro se centra no facto de nada poder escapar dele, incluindo a radiação. Parece então existir um enigma: como podem os buracos negros irradiar? Para espanto de outros cientistas, Hawking desvendou este enigma em 1974, descobrindo o meio pelo qual os buracos negros irradiam precisamente aquilo que a sua temperatura exige. O argumento pode ser simplificado da seguinte maneira: embora seja verdade que nenhuma radiação interior ao horizonte de acontecimentos – a superfície do buraco – pode escapar, o mesmo não se passa com a radiação que lhe é imediatamente exterior. Hawking argumentou que o intenso campo gravitacional imediatamente exterior à superfície do buraco podia criar espontaneamente pares partícula - antipartícula. As teorias quânticas do campo das partículas elementares introduzem processos análogos, os quais foram já observados em laboratório. Segundo Hawking, uma das partículas do par criado cai dentro do buraco e perde-se para sempre, enquanto a outra escapa-se e pode aniquilar-se ao encontrar uma antipartícula, também em fuga, produzindo radiação pura. A radiação que se escapa é hoje chamada de radiação de Hawking e pode ser calculada para os grandes buracos negros que se possam formar a partir das estrelas que entram em colapso e a sua intensidade é baixíssima. No entanto, os microburacos negros são quentes e irradiam a massa rapidamente, numa espetacular erupção de radiação de Hawking. Os microburacos

negros eventualmente criados na altura do Big Bang poderiam estar a explodir apenas agora [19].

Hawking apresentou um modelo do universo que tenta combinar as ideias da relatividade geral e da física quântica e que não só elimina a aborrecida singularidade do momento da criação mas em princípio explica tudo de uma só vez. A relatividade geral diz que deve haver uma singularidade a  $t=0$  s. Mas a física clássica também implica uma espécie de singularidade no átomo e que um electrão não pode estar em órbita à volta de um núcleo e que deve cair em direção ao seu centro. A mecânica quântica explica porque é que o átomo pode existir sob uma forma estável e também oferece uma perspetiva para a exclusão da singularidade (em  $t=0$ s) da cosmologia. Em termos físicos, podemos pensar na origem do tempo como sendo espalhada pela incerteza quântica durante um intervalo de  $10^{-43}$  segundos de modo que não há um momento único para a criação. Em termos de modelo físico, descrito por uma combinação matemática de relatividade geral e de física quântica, isto torna possível descrever as quatro dimensões do espaço-tempo como sendo uma superfície fechada, como, por exemplo, a superfície da terra [18].

Hawking acentua que este estado do universo é apenas uma proposta. E sugere que a condição de fronteira do universo é que ele não tem limites, não há bordas nem singularidades, não há princípio nem fim, quer do espaço quer do tempo [19].

Mas o modelo também trouxe algumas ideias novas que são muito estranhas e simultaneamente maravilhosas. A primeira é a implicação de que há outros universos que vão percorrendo os seus ciclos de expansão e colapso, e em certo sentido fazem-no a par de nós próprios (no superespaço) [15].

Mesmo assim, limitado ao conhecimento de apenas um dos muitos mundos que o modelo de Hawking diz que existem ao lado uns dos outros, no superespaço, podemos ter novas perspetivas quanto ao destino do nosso universo e quanto à natureza do tempo.

A física quântica é a chave para abrir as portas dos últimos segredos do universo e para explicar tanto o seu começo como o seu fim. Se a inflação hoje está num estado equivalente ao estado dos conhecimentos sobre a teoria do Big Bang na década de 1940, então, estendendo a analogia criada por Martin Rees, não parece de mais dizer que o modelo de Hawking do universo quântico se encontra onde a própria física quântica estava no início da década de 1920, antes de Heisenberg, Schrödinger e outros terem desenvolvido uma teoria completa e consistente. O tipo de teorias unificadas de que os

físicos estão agora a aproximar-se lentamente e as que ainda podem vir a descobrir, devem ser capazes, em combinação com o universo de Hawking, de explicar todos os fenómenos que até agora se deram ou virão a dar-se no universo. Uma tal teoria deveria ser capaz de prever a probabilidade de qualquer acontecimento, pelo menos em princípio, se bem que, na prática, na maioria dos casos, excetuando apenas os mais simples, os cálculos fossem demasiado complexos para que as equações se pudessem resolver [26].

A procura do Big Bang e mais para trás, antes do Big Bang, até ao próprio momento da criação, acabou. O universo de Hawking contém a perspectiva de combinar a relatividade geral e a cosmologia numa grande teoria da criação, e diz-nos que já conhecemos todas as leis fundamentais da física. Não é preciso invocar milagres, nem uma física nova para explicar de onde é que o universo provém. O próprio Hawking antevê o fim da física teórica no sentido de que pode estar à vista uma teoria unificada, talvez baseada na supergravidade. É claro que ainda ficaria muito trabalho para os físicos fazerem, como por exemplo, o de contemplar os detalhes da evolução do universo. Agora poder-se-á dar resposta à questão “De onde vimos?” sem invocar Deus nem condições especiais de limite para o universo no momento da criação.

Por causa dos teoremas da singularidade de Stephen Hawking acreditamos que, de facto, não havia nada antes do Big Bang. Então o que acontecia antes do Big Bang?

Uma possibilidade é o nosso universo ter surgido de um vácuo, uma bolha de espaço-tempo que foi crescendo até se tornar o que somos hoje. E como o nosso há muitos universos que simplesmente surgiram do vácuo. Outra hipótese deriva das ideias da teoria das cordas e da teoria M, que postulam que o universo tem muito mais de quatro dimensões e que nós vivemos numa brana tridimensional neste espaço-tempo. O nossa casa, a nossa brana parece um universo tridimensional que de vez em quando colide com outra brana igual à nossa. Quando colidem, aquecem e conseqüentemente, o nosso universo parece que sofre um Big Bang quente. Não há qualquer singularidade, apenas uma sucessão infinita de Big Bangs quentes [15].

Uma possibilidade mais abrangente é o espaço-tempo ser muito mais vasto do que tínhamos anteriormente imaginado e o nosso universo ser apenas um de inúmeros universos que formam o multiverso. Em todo o multiverso, os universos surgem, crescem até proporções cósmicas, cada um à sua velocidade e com a sua constituição específica.

Existimos porque o universo tem exatamente o conjunto certo de constantes, partículas e escalas de energia incluindo a constante cosmológica que possibilitam a nossa existência.

A aceitação do multiverso põe de lado o verdadeiro objetivo da física moderna que é encontrar uma explicação unificada, única e simples para todas as forças fundamentais incluindo a gravidade. Aceitar o multiverso equivale a desistir. Todavia, o multiverso, tem cada vez mais seguidores e resolve alguns dos grandes problemas sem solução, como por que razão há uma constante cosmológica e por que razão as constantes da natureza estão reguladas para serem exatamente como as medimos [18].

## 12. Os três grandes mistérios da cosmologia

### 12.1. Antimatéria

Recuemos no tempo, até à altura em que a radiação térmica de fundo atingia os valores de energia dos raios gama e estes, por colisão davam origem a números iguais de partículas e antipartículas desde que tivessem energia suficiente para criar o par partícula - antipartícula. Trata-se apenas da aplicação da relação massa-energia de Einstein,  $E=mc^2$ , aplicada à colisão. Isto resulta numa situação muito curiosa porque sabe-se que localmente o nosso universo é apenas feito de matéria e não uma mistura igual de matéria e de antimatéria. Deve existir muito pouca quantidade de antimatéria, caso contrário, já se teria detetado a sua presença por intermédio dos raios gama que seriam emitidos quando ela se aniquilasse com a matéria.

Pode compreender-se agora qual é o problema: não podemos iniciar com um universo que é completamente simétrico entre a matéria e a antimatéria, caso contrário, quase tudo se iria aniquilar. Iríamos acabar com uma pequena quantidade de matéria e de antimatéria no universo, muito inferior à quantidade que observamos. Então, na visão clássica, temos de incluir uma ligeira assimetria entre o número de prótons e o de antiprótons ou mais genericamente entre partículas e antipartículas na fase mais primordial do universo.

O Big Bang criou igual quantidade de matéria e de antimatéria. Contudo, hoje verifica-se que há mais matéria do que antimatéria e não se sabe porquê.

Um dos primeiros sucessos da teoria quântica relativista dos campos foi a previsão das antipartículas, novos quanta, que eram como uma versão das partículas vistas ao espelho. As antipartículas têm a mesma massa e spin que as partículas mas as cargas têm sinais contrários. A antipartícula do eletrão chama-se positrão e tem carga oposta à do eletrão. Se juntarmos eletrões a positrões, estes aniquilam-se, libertando a energia imensa encerrada na respetiva massa. Isto é, no momento em que se encontram desaparecem e transformam-se noutras partículas, por exemplo, em fótons (luz). A soma das energias dos fótons gerados nesta reação corresponde à soma das energias das partículas aniquiladas, nesta se incluindo as suas massas e energias cinéticas. Inversamente, os fótons podem entrar em reação e dar origem a pares de partículas e de antipartículas, se a sua energia for suficiente [21].

Afinal, como é que os físicos previram a existência de antipartículas? A interpretação estatística tinha como consequência que a intensidade de um campo determina a probabilidade de encontrar as suas partículas associadas. Assim, podemos pensar num campo, em determinado ponto do espaço, como descrevendo a criação ou aniquilação das suas partículas quânticas com uma determinada probabilidade. A existência de antimatéria é-nos simplesmente imposta pela exigência de uma descrição matemática consistente do processo de criação e aniquilação que esteja de acordo com as teorias quânticas e da relatividade [15].

A necessidade da existência de antipartículas foi primeiro compreendida pelo físico Paul Dirac que também deu muitas outras contribuições relevantes à nova teoria quântica: encontrou a equação relativista que hoje tem o seu nome e que governa o campo do electrão. Ao resolver essa equação Dirac descobriu que, além de descrever o electrão, a equação tinha soluções adicionais que descreviam uma outra partícula com uma carga eléctrica de sinal contrário à do electrão.

Dirac sugeriu então que as soluções adicionais da sua equação descreviam o protão. Porém, após investigação cuidadosa tornou-se claro que as partículas descritas pelas soluções adicionais tinham de ter precisamente a mesma massa que o electrão, o que pôs, imediatamente, de lado o protão. As soluções adicionais tinham, portanto, de corresponder a uma partícula completamente nova, com a mesma massa e spin do electrão, mas com carga de sinal contrário, como se referiu anteriormente.

O surgimento das antipartículas mudou para sempre a maneira de como os físicos pensavam a matéria. Acreditava-se que esta era permanente e imutável: as moléculas podiam ser alteradas, os átomos podiam decair por processos radioativos mas os quanta fundamentais não mudavam. Com a descoberta da antimatéria, por Paul Dirac, esta imagem teve de ser substituída. Heisenberg pôs a questão desta forma:

“creio que a descoberta feita por Dirac, das partículas e antipartículas mudou toda a nossa perspectiva da física atómica. Penso que até essa altura todos os físicos tinham concebido as partículas elementares na linha do pensamento da filosofia de Demócrito, nomeadamente considerando-as unidades imutáveis que existem na natureza, que são sempre o que são, nunca mudando, nunca podendo ser transformadas em nenhuma outra coisa. Não são sistemas dinâmicos, existem apenas. Depois da descoberta de Dirac tudo parecia diferente, dado que poderia perguntar-se por que é que um protão não pode ser,

por vezes, um próton mais o par electrão - positrão e assim sucessivamente. Deste modo, o problema da divisão da matéria apareceu sob uma luz diferente”. O facto das partículas e antipartículas poderem ser criadas em conjunto a partir do vácuo, desde que se forneça energia suficiente, é importante não somente para compreender como são as partículas criadas nos aceleradores de altas energias mas também para descobrir os processos quânticos que tiveram lugar no Big Bang quente [7].

Existem de facto, condições para a criação de matéria. A primeira destas condições é que o universo tem de fabricar mais matéria do que antimatéria. Para tal a matéria e antimatéria, que são a imagem uma da outra num espelho, têm de ser diferenciadas por alguma interação que nos diga de que lado do espelho se encontra o universo atual. Outra condição seria que o universo se encontrasse num estado de não equilíbrio durante um estágio muito inicial do seu desenvolvimento, quando os processos que violam a conservação do número bariónico<sup>6</sup> eram mais eficazes. Isto significa que em dada altura da sua história primitiva o universo deve ter sofrido uma transição de fase, uma mudança do seu estado básico, que aconteceu tão rapidamente que o ritmo de colisões entre as partículas quânticas no gás primordial não conseguiu acompanhá-la. Se tal transição de fase ocorreu, qualquer assimetria matéria-antimatéria gerada durante a transição conseguiu sobreviver, pois uma vez acabada a transição, os processos que violam a conservação do número bariónico tornaram-se menos eficazes e a conservação do número de bariões foi efetivamente restaurada. Os prótons e neutrões em excesso, gerados a partir do nada, ficaram agora encerrados no universo.

Em suma, a antimatéria é o nome que se dá ao material composto por antipartículas. As antipartículas, por sua vez, são partículas com massa igual à das partículas mas com carga oposta. Além disso têm outras propriedades opostas, como por exemplo, o número bariónico. De uma forma geral, podemos dizer que todas as partículas têm a sua antipartícula, mas em certos casos, como o fóton, a partícula é igual à antipartícula.

A assimetria matéria-antimatéria poderia ser gerada a partir de um estado simétrico desde que o número de bariões não fosse conservado, existissem interações que violassem a simetria para a inversão no tempo e o universo tivesse estado em certa altura num estado de não equilíbrio de expansão extrema. O modelo padrão não satisfaz todas estas

---

<sup>6</sup> “Barião” é um termo genérico que inclui as partículas nucleares, prótons e neutrões (que obedece a interações fortes) assim como algumas partículas instáveis e um pouco mais pesadas conhecidas por hiperões [7].

condições, razão por que a origem da matéria invisível permanece um enigma nesse modelo. Contudo, a teoria que unifica as forças eletromagnéticas, forte e fraca, designada por Teoria da Grande Unificação (GUT), que vai para além do modelo padrão, pode violar a conservação do número de bárions. Isto conduziu ao reativar do interesse em explicar a assimetria matéria-antimatéria observada [24].

Uma das consequências mais importantes da teoria da grande unificação das partículas elementares é que ela resolve este enigmático desequilíbrio entre matéria e antimatéria no universo.

Face aos conhecimentos atuais é fácil gerar antipartículas em grandes aceleradores de partículas. Existem provas, a partir de raios cósmicos, de que o mesmo se passa com a matéria da galáxia: não estão presentes antiprotões ou antineutrões para além de um pequeno número de pares partícula/antipartícula obtidos em colisões a altas energias nos aceleradores do CERN.

Atualmente estão a ser estudadas teorias mais abrangentes, as quais serão desenvolvidas no capítulo 13 deste relatório.

## 12.2. Matéria escura

Os astrónomos e os físicos sabem que é pouco provável que a atração gravitacional entre as galáxias individuais, atuando durante um longo período de tempo, possa ter produzido, por si só, a distribuição das galáxias que observamos. Alguma coisa mais tem de estar presente e talvez seja a massa que falta na forma de matéria escura: matéria escondida dentro ou entre as galáxias e que não pode ser vista pelos telescópios. Uma prova indireta, mas boa, da existência da tal matéria escura foi encontrada na década de 30 em estudos de aglomerados de galáxias pelos astrónomos Fritz Zwicky e Sinclair Smith, do Cal Tech. Concluíram que as galáxias num aglomerado se moviam demasiado depressa para permitir que o aglomerado se mantivesse coeso, dado que a atração gravitacional mútua de todas as galáxias era insuficiente para as ligar na forma observada. Era a primeira prova de que os aglomerados de galáxias deviam conter algum tipo de matéria escura que fornecesse a massa adicional para os conservar coesos [19].

Por vezes, referimo-nos a essa massa adicional de que necessitamos para fechar o universo como a massa em falta, mas na verdade, esta massa não está em falta, pois pode mesmo não existir. No entanto, sabemos que existe uma matéria invisível, que é considerável, e que designamos por matéria escura ou negra. A matéria negra pode ser identificada por diversos meios. Um deles é através da medição das velocidades das estrelas. Se soubermos a velocidade de uma estrela em órbita da Via Láctea, por exemplo, podemos deduzir a massa de todas as estrelas entre a estrela e o centro da galáxia. E efetivamente, se pudermos deduzir a velocidade de uma estrela próxima dos limites exteriores de uma galáxia, podemos calcular a massa da galáxia. Os astrónomos fizeram-no com muitas galáxias e têm constatado, que na maioria dos casos, há grandes quantidades de massa nas galáxias que não é visível. Pressupõe-se que a maior parte das galáxias tem um halo invisível em torno de si mesmas, e que existem quantidades consideráveis de matéria neste halo [22].

Uma outra indicação da existência de matéria negra foi encontrada em aglomerados de galáxias. Sabemos que a maioria das galáxias está em aglomerados. Os astrónomos têm meios para determinar a massa de cada galáxia (como se explicou acima) e a massa total do aglomerado (somando todas as massas individuais), e descobriram que quando se somam as massas de cada galáxia, o valor é muito inferior ao da massa do aglomerado.

Há uma grande diferença entre estes dois valores, o que significa a existência de muita massa no aglomerado que não somos capazes de ver [23].

Podemos então dizer que a matéria escura não só está presente à escala de distâncias das dimensões dos aglomerados e superaglomerados como também é possível que seja a principal componente material das galáxias individuais.

Mas afinal o que é a matéria escura? Foi considerada a possibilidade de poder ser gás, grãos de poeira, hidrogénio gelado ou estrelas que entraram em colapso, como os buracos negros, ou planetas do tamanho de Júpiter. Todas estas possibilidades foram afastadas.

De facto, é uma matéria invisível que não reflete, não absorve, não emite luz, não interage consigo própria nem com a matéria mas que pode ser observada a partir de efeitos gravitacionais sobre a matéria visível (como as estrelas, galáxias e aglomerados de galáxias) [13].

Deste modo, diferentes hipóteses foram avançadas quanto à natureza da matéria escura. Umhas invocam uma matéria vulgar também chamada bariónica, constituída por bariões como o protão e o neutrão que obedecem a interações fortes; as outras, uma matéria hipotética, chamada não bariónica, cuja energia pode produzir efeitos gravitacionais idênticos aos causados pela matéria bariónica [15].

Atualmente, pesquisadores acreditam que os principais candidatos à matéria escura são partículas não – bariónicas como os axiões (partículas elementares hipotéticas de massa muito reduzida), os neutrinos estéreis (semelhantes aos neutrinos com exceção de serem mais massivas e não interagirem com a força fraca) e os neutralinos que são partículas massivas de interação fraca também designadas por WIMPs (Weakly, Interacting, Massive, Particles) que são também chamadas de partículas subatómicas exóticas [15] [33] [110].

Por outro lado, é possível que uma pequena parte da matéria escura sejam partículas bariónicas, os chamados MACHOs (Massive Compact Halo Objects), isto é, objetos massivos compactos que por emitirem pouca radiação são difíceis de detetar [110].

Aquilo que tem suscitado um grande interesse por parte dos físicos de partículas é a possibilidade da matéria negra ser uma partícula exótica e muito difícil de detetar através de experiências com aceleradores. Felizmente, os cientistas podem verificar a existência da matéria negra através da energia “perdida” depois da colisão em experiências realizadas no acelerador LHC.

Em suma, quase um quarto do universo parece ser constituído por matéria escura, 23%, uma matéria pesada e invisível aglomerada à volta das galáxias. Os outros restantes 77% têm a forma de uma substância etérea, a energia escura, 72%, que dilata o espaço, e aproximadamente 5% do universo é constituído por algo que nos é familiar: os átomos [4]. (Figura 9)

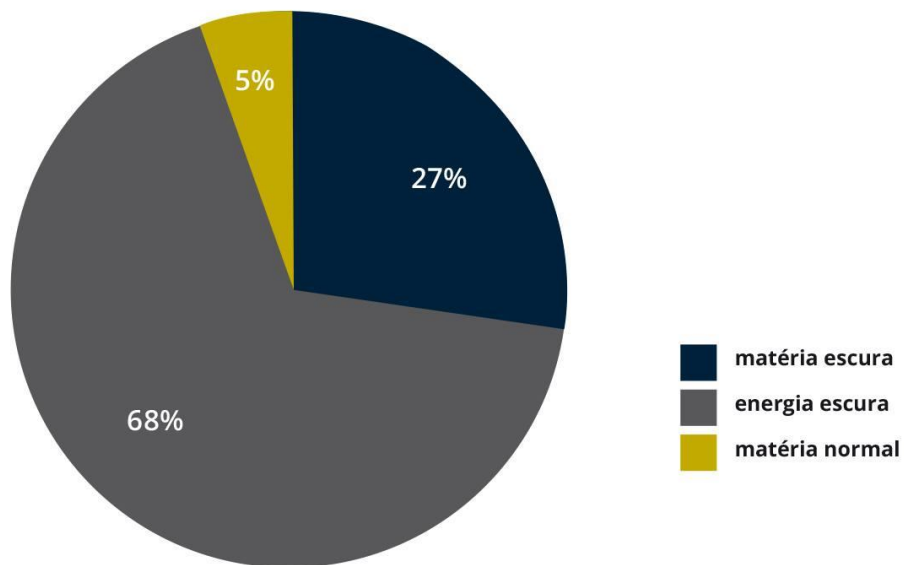


Figura 9 – Composição do Universo atual [119].

### 12.3. Energia escura

Einstein disse que adicionar a constante cosmológica às equações da relatividade geral tinha sido o maior erro da sua vida (como foi referido no capítulo 8). Este termo permitia que se acelerasse ou abrandasse a velocidade de expansão do universo, para compensar a gravidade. Apesar de Einstein ter abandonado a ideia da constante cosmológica, novas evidências, nos finais dos anos 90, exigiram que ela fosse reintroduzida.

Em 1998, dois grupos de astrónomos, o Supernova Cosmology Project e o High-Redshift Supernova Search Team, ao mapear supernovas em galáxias distantes para medirem a geometria do espaço, descobriram que as supernovas longínquas pareciam ser menos intensas do que deveriam. As supernovas tipo IA têm um brilho que pode ser previsível e que é útil para inferir distâncias. Tal como as estrelas Cefeides que foram usadas para medir as distâncias às galáxias e assim estabelecer a lei de Hubble, o brilho intrínseco das supernovas tipo IA pode ser obtido a partir dos seus espectros luminosos, de tal forma que é possível dizer o quão distantes elas deverão estar [22].

Assim sendo, para determinar se a taxa de expansão do universo está a aumentar ou a diminuir, os astrónomos comparam a luminosidade proveniente da explosão de supernovas em regiões distantes e próximas no universo [110].

Este tipo de estudos funcionou muito bem para supernovas que estavam próximas, mas não para as mais distantes. Era como se elas estivessem mais longe de nós do que deveriam estar. À medida que descobriram mais e mais supernovas distantes, o padrão da diminuição do brilho com a distância começou a sugerir que a expansão do universo não era constante como na lei de Hubble, mas sim que estava a acelerar [110].

A 4 de outubro de 2011, o Prémio Nobel da Física foi atribuído a três astrofísicos, S. Perlmutter, B. Schmidt e A. Riess pela descoberta observacional da expansão acelerada do universo. Eles chegaram à conclusão que, ao contrário do que se previa, o universo está em expansão acelerada, isto é, as distâncias entre as galáxias estão a aumentar de uma forma cada vez mais rápida. Graças às observações de supernovas muito distantes do tipo IA foi possível chegar a essa conclusão. De uma forma simples, poder-se-á dizer que as observações daquelas supernovas parecem indicar que elas se encontram a distâncias muito maiores do que o previsto pelos modelos cosmológicos não

acelerados. Acredita-se que, para essas supernovas estarem à distância a que estão, o universo teria de ter expandido a uma taxa cada vez mais elevada, ou seja, de uma forma acelerada, desde a ocorrência de supernovas até à época atual [111].

Perante as provas observacionais, os físicos mostraram que era necessário que houvesse uma nova força repulsiva que contrabalançasse a gravidade. Esta era considerada uma espécie de gravidade repulsiva e designaram por energia escura este termo de energia negativa [111].

A natureza da energia escura é um dos maiores desafios atuais da física e da cosmologia [4].

Tudo o que sabemos é que é uma forma hipotética de energia que estará distribuída por todo o espaço (esta distribuição significa que esta energia não tem nenhum efeito gravitacional local, mas sim um efeito global no universo [4]) e que causa uma pressão negativa em regiões desprovidas de matéria com gravidade atrativa [22].

Existem, no entanto diversos candidatos propostos a energia escura, tais como a constante cosmológica, fluidos com componentes exóticos, passando para uma versão mais atual, a quintessência. As principais formas das diferentes propostas de energia escura são: a constante cosmológica (que não sofreria modificações no decorrer do tempo) e a quintessência (que seria variável no tempo). A quintessência parece ser a melhor teoria a que se pode recorrer para explicar a expansão acelerada do universo [22].

O universo tem sido alvo de muitos estudos, mas pouco conhecimento foi reunido até à presente data sobre ele. São várias as teorias que tentam explicar o cosmo, mas poucas são consistentes com as observações. Desta forma, o universo mostra-se ainda como um enigma por descobrir.

## 13. Em busca da Teoria Final

### 13.1.A Unificação do Século XXI

“A coisa mais incompreensível no Universo é ele poder ser compreendido” Albert Einstein [15]

Aquando da origem do universo existiu uma única força, a chamada força primitiva, e à medida que o universo se foi expandindo, as forças fundamentais da natureza (força nuclear forte, nuclear fraca, eletromagnética e gravidade) separaram-se devido à quebra de simetria [9]. Os físicos, numa tentativa de explicarem essa diferença entre matéria e antimatéria, começaram por supor que o universo teve início num estado simétrico, no qual o número bariónico seria zero. Todavia, se o modelo padrão estivesse correto e o número bariónico fosse conservado, o número de bariões seria também zero e hoje não haveria matéria visível no universo [25].

Deste modo, os cientistas procuraram uma teoria que demonstrasse que as quatro forças referidas anteriormente poderiam ser unificadas [10].

As teorias da relatividade restrita e geral modificaram para sempre a nossa visão de espaço, de tempo e gravitação, pois Einstein tentou explicar o mais vasto conjunto de fenómenos com o mínimo de princípios físicos possível. Este cientista unificou espaço, tempo e gravidade e sonhou encontrar uma estrutura única capaz de abranger todas as leis da natureza à qual chamou teoria unificada [9].

Contudo, o sonho de Einstein não foi realizado. Após a sua morte, inúmeros físicos tentam resolvê-lo, ao longo das décadas seguintes, exploraram as forças nuclear fraca, nuclear forte e eletromagnética, onde a ideia da unificação esteve sempre patente.

Nas décadas de 50 e 60, alguns físicos começaram a fazer notar que a unificação das interações eletromagnética e fraca era imprescindível, dando origem ao modelo electrofraco. Pensava-se que a “entrada” para a unificação consistia em fundir os campos sob uma simetria espontaneamente quebrada [25].

Na realidade, os cientistas depois de unirem a força nuclear fraca e a eletromagnética, procuraram também incluir a força nuclear forte [19]. Isto é, das quatro forças observadas,

a gravitacional, a eletromagnética, a nuclear fraca e a nuclear forte, os físicos inventaram teorias que unificam as três últimas a elevadas temperaturas, sendo visível esta junção na figura 19. O êxito da unificação das três forças conduziu à chamada teoria da grande unificação, GUT ou GUTs, isto é, uma teoria em que, nos regimes de altas energias, as três interações do modelo padrão, que definem as interações eletromagnética, fraca e forte, confluem para uma única força. Tratar-se-ia assim de uma interação unificada, deduzida a partir de uma simetria mais abrangente que a do modelo padrão. Embora tecnicamente a discussão seja muito complicada e fora do âmbito deste relatório, há pistas simples de compreender. Por exemplo, o electrão e o protão têm cargas simétricas e daí resulta toda a estabilidade do universo como o conhecemos. Todavia, essa simetria de cargas não é explicada pelo modelo padrão. Deve pois haver uma simetria mais fundamental do que a do modelo padrão que permita explicar esta aparente coincidência. Numa GUT existem diferentes portadores de força mas apenas uma constante de acoplamento, o que quer dizer que todas as forças se poderiam relacionar entre si através de um mecanismo subjacente comum. Nos instantes primordiais do universo, em que as energias eram muito altas podem ter-se verificado as condições para uma época de grande unificação, querendo com isto dizer-se que as interações entre as partículas nessa época foram do tipo descrito nas GUT e que não havia distinção entre as três forças do modelo padrão [17].

Este título, GUT, é um tanto exagerado, pois as teorias resultantes não incluem a mais fraca das quatro forças, a gravidade [17].

Os físicos teóricos que atualmente exploram as GUTs acreditam que elas têm profundas consequências sobre a natureza do universo primitivo e que são igualmente responsáveis por novas propriedades das partículas quânticas, como o decaimento de protões, e a existência de toda uma nova classe de partículas quânticas [15].

Assim sendo, o protão que no modelo padrão era absolutamente estável, torna-se instável no modelo GUT e o decaimento do protão parece ser uma consequência natural da ideia da grande unificação [25].

Durante muitos anos, os físicos aperceberam-se de que o obstáculo principal a uma teoria unificada era o conflito básico entre os dois maiores desenvolvimentos da física do século XX, mais concretamente, a relatividade geral e mecânica quântica (abordadas ao longo deste relatório de atividade profissional). Embora estas duas estruturas sejam aplicadas a

domínios diferentes, cada uma das teorias pretende ser universal e trabalhar em todos os domínios. Da junção da relatividade com a mecânica quântica surgiu uma nova visão do mundo, na qual a matéria perdeu o seu papel central devido a princípios de simetria, alguns deles invisíveis no estado atual do universo [17].

A união proposta pela teoria das supercordas entre a relatividade geral e a mecânica quântica só faz sentido matematicamente se sujeitarmos a nossa concepção de espaço-tempo a outra revolução. Em vez de três dimensões espaciais e uma dimensão temporal da experiência comum, a teoria das supercordas requer nove dimensões espaciais e uma dimensão temporal. E, numa versão mais recente da teoria das supercordas conhecida por teoria M, a unificação requer dez dimensões espaciais e uma dimensão temporal (composta por um total de onze dimensões espaço-temporais). Como não vemos estas dimensões extras, a teoria das supercordas diz-nos que só vimos até agora uma ínfima parte da realidade. Como é evidente, a ausência de comprovação experimental de dimensões extra também pode significar que não existem, e que a teoria das supercordas está errada. No entanto, seria precipitado tirar essa conclusão. Décadas antes da descoberta da teoria das supercordas, vários cientistas, incluindo Einstein, tinham já ponderado a ideia de dimensões espaciais além daquelas que vemos e sugeriram sítios onde poderiam estar a esconder-se. Os teóricos das cordas melhoraram substancialmente essas ideias e descobriram que as dimensões podem estar comprimidas de forma tão apertada que são demasiado pequenas e completamente invisíveis, devido à maneira como analisamos o universo [35]. Einstein não acreditava na mecânica quântica pois achava que baseando-se nessa teoria obteria um universo de acasos e incertezas.

Todavia, a principal dificuldade de encontrar uma teoria que unifique a gravidade com as outras forças é que a relatividade geral é uma teoria clássica e por isso, mesmo que o espaço vazio esteja cheio de pares de partículas e antipartículas virtuais, esses pares teriam uma quantidade infinita de energia. Isto quer dizer que a sua atração gravítica curvaria o universo até este atingir um tamanho infinitamente pequeno [17].

Assim sendo, trabalha-se presentemente no sentido de elaborar teorias de unificação de campos que incluam também a gravidade (embora estas não sejam até agora muito realistas) [15].

Einstein estava certo, a busca de uma teoria da grande unificação acabaria por dominar a física de finais do século XX [9].

Com base neste século de experiências, a teoria final fundamentar-se-á em princípios de simetria. Esperamos que estas simetrias unifiquem a gravitação com as forças nuclear fraca, eletromagnética e nuclear forte do modelo-padrão, pois durante décadas não sabíamos como eram estas simetrias e não tínhamos ainda qualquer teoria quântica da gravitação matematicamente satisfatória que incluísse a simetria subjacente à relatividade geral [8].

O campo unificado, aquilo a que chamaram supergravidade ou superforça será a “chave” do conhecimento não só da maneira como o mundo funciona atualmente, mas também do modo de como o vemos hoje [9].

A “luta” de Einstein, na procura de uma teoria final, continua a ser a “luta” dos físicos de hoje, visto que ainda estamos na “viagem” para a descoberta das leis finais [35].

### **13.2. Teoria das cordas**

A teoria das cordas oferece-nos uma nova e profunda modificação da nossa descrição teórica das propriedades ultramicroscópicas do universo, uma modificação que, de acordo com a percepção dos físicos, altera a relatividade generalizada de Einstein exatamente da maneira necessária para a tornar completamente compatível com as leis da mecânica quântica. Em primeiro lugar, a teoria das cordas resolve, aparentemente, o conflito entre a relatividade generalizada e a mecânica quântica. A natureza espacialmente extensa de uma corda é o novo elemento essencial que permite incorporar duas teorias. Em segundo lugar, a teoria de cordas é uma verdadeira teoria unificada, uma vez que propõe que toda a matéria e todas as forças surgem do mesmo ingrediente básico: corda oscilante.

A teoria das cordas afirma que, os constituintes fundamentais do universo não são partículas pontuais. Em vez disso, são minúsculos filamentos unidimensionais, como elásticos infinitamente finos que vibram e oscilam. A teoria propõe que as cordas são os “ingredientes” ultramicroscópicos de que são formadas as partículas e os átomos que nos constituem. As cordas são átomos constituintes indivisíveis, verdadeiramente fundamentais [15].

Para que se compreenda melhor esta teoria a autora vai recorrer a cordas de violino. Cada uma delas pode vibrar segundo uma variedade enorme de padrões diferentes chamados de ressonâncias. (Figura 10)

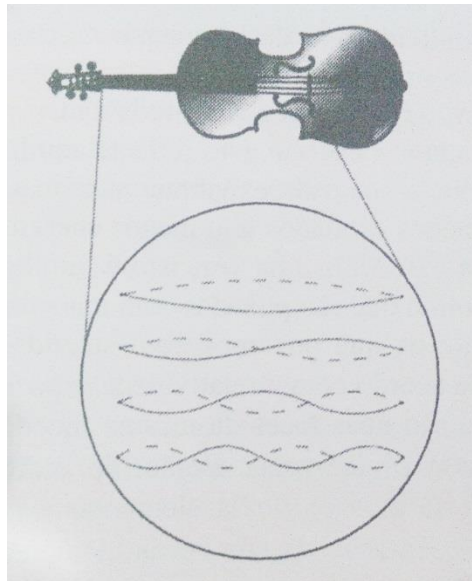


Figura 10 – A vibração das cordas de um violino mediante padrões de ressonância [15].

Frequências naturais ou frequências ressonantes são padrões de onda cujos picos e vales são regularmente espaçados e cabem perfeitamente entre os dois extremos fixos de uma corda. Os nossos ouvidos sentem estes padrões de vibração como diferentes notas musicais. As cordas da teoria das cordas têm propriedades semelhantes. Há modos de ressonância vibracionais que a corda pode suportar visto que tem os seus picos e vales de onda regularmente espaçados e perfeitamente ajustados à extensão espacial da corda (como foi referido anteriormente). Alguns exemplos estão na figura 11.

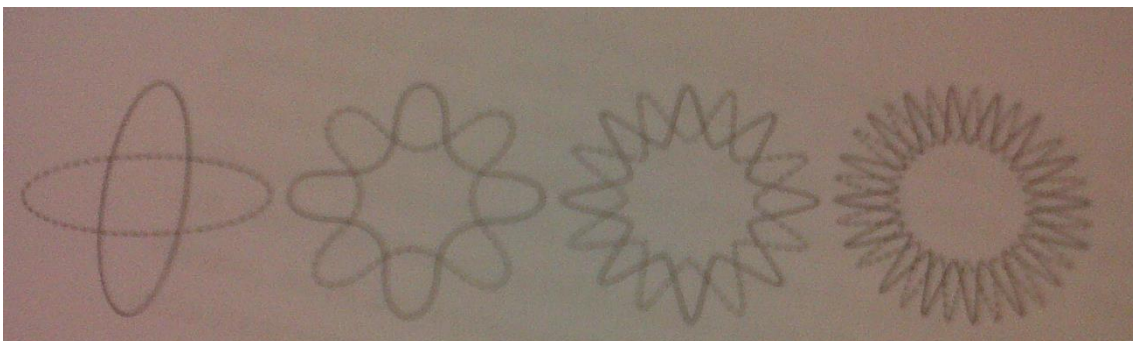


Figura 11 - Os primeiros exemplos de padrões vibracionais de cordas [35].

A descoberta chave é que o padrão específico de vibração executado por uma corda produz uma massa específica, uma carga elétrica específica, um spin específico, isto é, um conjunto específico de propriedades que distinguem uma partícula da outra. Uma corda a vibrar num dado padrão pode ter as propriedades de um elétron, enquanto uma corda a vibrar num padrão diferente pode ter as propriedades de um quark ou qualquer outra espécie de partículas [35].

O material do electrão, por exemplo, tinha carga elétrica negativa enquanto o neutrino não tinha carga elétrica. A teoria das cordas modifica estas ideias de uma forma radical ao afirmar que o material de que são feitas toda a matéria e todas as forças é o mesmo.

Cada partícula elementar é constituída por uma única corda, ou seja, cada partícula é uma única corda, e todas as cordas são idênticas. (Na teoria das cordas o termo partícula elementar significa pequena corda vibrante). As diferenças entre as partículas têm origem em padrões de oscilação diferentes das respetivas cordas. Podemos dizer que o universo composto por um número elevado destas cordas vibrantes pode comparar-se a uma sinfonia cósmica [15].

É importante referir que da mesma maneira que os diferentes modos de vibração de uma corda de violino dão origem a notas musicais diferentes, os padrões de vibração diferentes de uma corda fundamental dão origem a massas e a cargas de forças diferentes. Deste modo e de acordo com a teoria das cordas, as propriedades de uma partícula elementar, a sua massa e as suas cargas de força são determinadas pelo padrão de ressonância que a sua corda interna executa. É mais fácil compreender esta associação no caso da massa da partícula. A energia de um modo particular de vibração de uma corda depende da sua amplitude (deslocamento máximo entre picos e vales) e do seu comprimento de onda (separação entre dois picos consecutivos). Quanto maior a amplitude e mais pequeno o comprimento de onda, maior a energia.

Recorrendo à teoria das cordas, a mais simples das propriedades de uma partícula é a sua massa e devido à célebre equação de Einstein,  $E=mc^2$ , sabe-se que a massa e energia são equivalentes. Deste modo, a massa de uma partícula em teoria das cordas é, nada mais nada menos do que a energia da corda vibrante [15].

Assim sendo, uma vibração mais rápida significa energia maior pelo que partículas mais pesadas têm cordas internas que vibram mais energeticamente e caso contrário, partículas mais leves têm cordas internas que vibram mais lentamente e com menor energia [35].

Poder-se-á dizer que a massa de uma partícula elementar é determinada pela energia do modo de vibração da sua corda elementar interna e através da teoria das cordas as propriedades observadas de cada uma das partículas elementares tem origem num modo de vibração particular da sua corda interna [15].

De acordo com a teoria das cordas, o universo é composto por cordas minúsculas cujos padrões ressonantes de vibração constituem a origem microscópica das massas e cargas de força das partículas e unifica a nossa compreensão de todos os constituintes materiais e forças fundamentais da natureza. Contudo, para realizar estes feitos, a teoria das cordas exige que o universo tenha dimensões espaciais extra que se devem encontrar enroladas num tamanho muito pequeno compatível com o facto de nunca as termos visto.

Quando a corda se move, oscilando à medida que se desloca, a forma geométrica das dimensões extra tem um papel crítico na determinação dos padrões de vibração. Uma vez que os padrões de vibrações nos aparecem na forma das massas e cargas de força das partículas, concluímos que estas propriedades fundamentais do universo são determinadas, maioritariamente, pelo tamanho e pela forma geométrica das dimensões extras. Este é um dos resultados mais importantes da teoria das cordas.

Uma vez que as dimensões extra influenciam bastante as propriedades básicas do universo é importante abordá-las mais em pormenor. Estas dimensões são uma componente integral do tecido espacial e existem em toda a parte. Por exemplo, quando se descreve algum objeto com a mão, este está a mover-se não só através das três dimensões estendidas mas também através das enroladas [15]. Mas porque é que não vemos essas dimensões extra se elas existem realmente? Porque só conhecemos três dimensões espaciais e uma temporal? A proposta a estas questões prende-se com o facto de as outras dimensões estarem recolhidas num espaço com um tamanho pequeníssimo. Esse espaço é tão pequeno que pura e simplesmente não o vemos. Vemos apenas as três dimensões espaciais e uma temporal nas quais o espaço-tempo é essencialmente plano [17].

Para compreendermos melhor temos que recordar que as massas e as cargas das partículas na teoria de cordas são determinadas pelos padrões de vibração de ressonância possíveis.

As dimensões espaciais enroladas têm efeitos semelhantes nos padrões de vibração de uma corda. Uma vez que as cordas minúsculas podem vibrar segundo todas as dimensões espaciais, o modo de como as dimensões extra se encontram torcidas e enroladas sobre si

próprias influencia e limita simultaneamente os padrões vibracionais possíveis. Estes padrões determinados em grande parte pela geometria extradimensional, constituem um conjunto de propriedades possíveis das partículas observadas nas dimensões estendidas usuais. Isto significa que a geometria extradimensional determina as características físicas fundamentais, como sejam as massas e cargas das partículas que observamos nas habituais três grandes dimensões espaciais [15].

Face a esta nova física da teoria das cordas e mediante escalas tão pequenas teve de surgir uma nova geometria. Esta nova geometria é conhecida por geometria quântica.

Sabe-se que as cordas podem mover-se num cilindro de duas maneiras diferentes: em configurações enroladas ou não. (Figura 12)

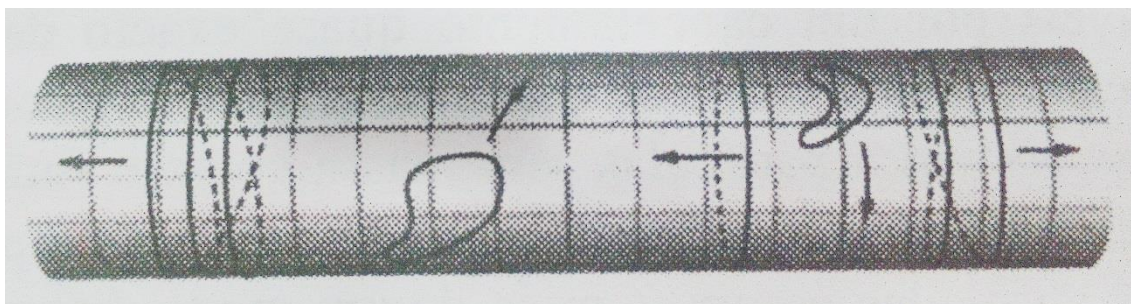


Figura 12 – Cordas a moverem-se num cilindro [15].

O número de vezes que a corda se enrola na dimensão circular chama-se o seu número de voltas. A energia do enrolamento, sendo determinada pelo comprimento da corda é proporcional ao produto do raio pelo número de voltas.

A diferença essencial entre estas duas configurações é que as cordas enroladas têm uma massa mínima, determinada pelo tamanho da dimensão circular e pelo número de voltas que a corda dá (enquanto que a outra não). E o movimento oscilatório da corda fornece uma contribuição adicional a este mínimo.

Assim, uma corda enrolada tem um comprimento mínimo determinado pelo perímetro da circunferência da dimensão circular e pelo número de voltas que dá. O comprimento mínimo da corda determina a sua massa mínima: quanto maior for este comprimento, maior será a massa mínima uma vez que há mais massa.

Se as cordas enroladas tiverem um comprimento mínimo, a energia será mínima e proporcional ao raio. Estas duas observações estabelecem que valores grandes de raio implicam energias de enrolamento altas e energias de vibração baixas, ao passo que um raio pequeno implica baixas energias de enrolamento e energias de vibração altas.

A situação da teoria das cordas é similar porque a energia das configurações das cordas provém de duas fontes: vibrações e enrolamentos cujas contribuições para a energia final são geralmente diferentes.

À primeira vista, a teoria das cordas estabelece um elo de ligação entre a física e a geometria, uma vez que as propriedades das cordas vibrantes (a sua massa e as cargas de força que transporta) são maioritariamente determinadas pelas componentes enroladas do espaço [35].

Todavia, um dos problemas que os físicos encontraram com a teoria das cordas é que ela incluía configurações de cordas vibrantes que tinham propriedades parecidas com a dos glúões, dando “corpo” à ideia original de que era uma teoria de força forte. Além disso, continha partículas mensageiras adicionais que pareciam não ter nada a ver com as observações experimentais relativas à força forte. Em 1974 Schwarz e Joël Scherk, da École Normale Supérieure, deram um passo corajoso que transformou esta desvantagem aparente numa virtude. Após terem estudado os curiosos padrões de oscilação das cordas, aperceberam-se de que as suas propriedades eram exatamente aquelas que deveria ter a hipotética partícula mensageira da gravitação (o gravitão) [35]. Embora estes pacotes mais pequenos da força gravítica nunca tenham sido observados, os físicos conseguem com confiança certas propriedades básicas que eles têm de ter e Scherk e Schwarz encontraram exatamente essas propriedades nos padrões de vibração das cordas. Baseados nesses resultados, Scherk e Schwarz, sugeriram que a teoria das cordas falhara na sua tentativa inicial e mencionaram que a teoria de cordas não é uma teoria somente da força forte mas que inclui também a gravidade. Mais tarde, Green e Schwarz mostraram que a teoria resultante tinha capacidade para descrever as quatro forças e também toda a matéria [17].

Apesar de todos estes altos e baixos, estamos ainda longe de poder encontrar as partículas previstas pela teoria das cordas nos laboratórios. No entanto, há maneiras mais indiretas de as procurar. Por exemplo, as energias envolvidas no nascimento do universo terão sido suficientemente altas para que estas partículas tenham sido produzidas em grande

quantidade? Em geral, não esperaríamos que sobrevivessem até aos dias de hoje, porque as partículas superpesadas são normalmente instáveis, libertando-se da sua elevada energia através de decaimentos em “cascatas” de partículas cada vez mais leves e terminando com as partículas relativamente leves que compõem o mundo que nos rodeia. Contudo, é possível que um desses estados superpesados de vibração de uma corda, tenha sobrevivido até ao presente momento [15].

Pela primeira vez na história da física, temos um contexto com a capacidade de explicar todas as características fundamentais sobre as quais o universo é construído. Por esta razão, a teoria de cordas é por vezes descrita como uma possível teoria de tudo (TDT). Na prática, muitos teóricos das cordas adotam um ponto de vista mais consciente e pensam numa TDT num sentido mais limitado, de uma teoria capaz de explicar as propriedades das partículas fundamentais e das forças por meio das quais elas interagem. A teoria das cordas tem as características de uma TDT mas subsistem várias dificuldades que nos impedem de deduzir o espetro de vibração das cordas com uma precisão suficiente para poderem ser comparadas com os dados experimentais. Consequentemente, no momento presente não sabemos se as características fundamentais do universo podem ser explicadas pela teoria de cordas [15].

### 13.3. Teoria das supercordas

O período de 1984 a 1986 ficou conhecido como o da primeira revolução da teoria das supercordas. Durante esses três anos, mais de mil artigos de investigação em teoria de cordas foram escritos por físicos de todo o mundo. Estes trabalhos mostraram que muitas das propriedades do modelo padrão, propriedades essas, que tinham sido descobertas ao longo de décadas de investigação, emergiam natural e simplesmente da estrutura maior da teoria de cordas.

Para muitas destas propriedades, a teoria das cordas oferece uma explicação muito mais completa e satisfatória do que a encontrada no modelo padrão. O modelo padrão vê os constituintes fundamentais do universo como “ingredientes” pontuais, sem qualquer estrutura interna e como também não inclui a gravidade não pode ser candidata a teoria completa ou final.

Estes desenvolvimentos convenceram muitos físicos de que a teoria de cordas estava no bom caminho para cumprir o seu papel promissor de ser a teoria unificada final [15].

A partir destes princípios, a teoria das supercordas (uma versão similar à teoria das cordas mas que incorpora a supersimetria) combina a relatividade geral e a mecânica quântica numa teoria única e consistente pois sem esta união bem sucedida a origem do universo permaneceria sempre misteriosa [8].

A supersimetria, em inglês também designada por Supersymmetry (SUSY), é uma extensão do modelo Padrão que visa preencher algumas das suas lacunas encontradas até à presente data.

Esta prevê que todas as partículas no modelo padrão têm de ter parceiras supersimétricas, chamadas “spartículas”, que até agora ainda não foram observadas em laboratório (se a teoria estiver correta, as partículas supersimétricas devem aparecer em colisões no LHC) [109].

É um princípio de simetria que relaciona as propriedades de partículas que têm spin<sup>7</sup> inteiro (bosões) com as que têm spin semi-inteiro (fermiões), ou seja, relaciona uma

---

<sup>7</sup> Spin- número quântico associado ao momento angular das partículas [33].

partícula fundamental com outra com spin diferente por meia unidade, fazendo corresponder a cada fermião um bosão ou vice - versa [33].

A supersimetria pressupõe a existência de corpos massivos para além dos conhecidos, o que poderá facilitar a unificação das forças fundamentais e irá resolver um grande problema com o modelo Padrão (manter constante a massa do bosão de Higgs) o que ajudará a explicar o motivo pelo qual as partículas têm massa [109].

Se a natureza for governada pela supersimetria, então o micromundo será regido por uma espécie de superespelho. (Figura 13) De um lado do espelho estão as partículas vulgares como os quarks ou gluões, do outro lado, cada uma destas partículas tem um superparceiro, novas partículas designadas por quarkinos e gluínos que podem ter massa muito elevada. (A temperaturas mais baixas a simetria é quebrada dando origem às diferenças entre partículas vulgares e as suas superparceiras) [25]

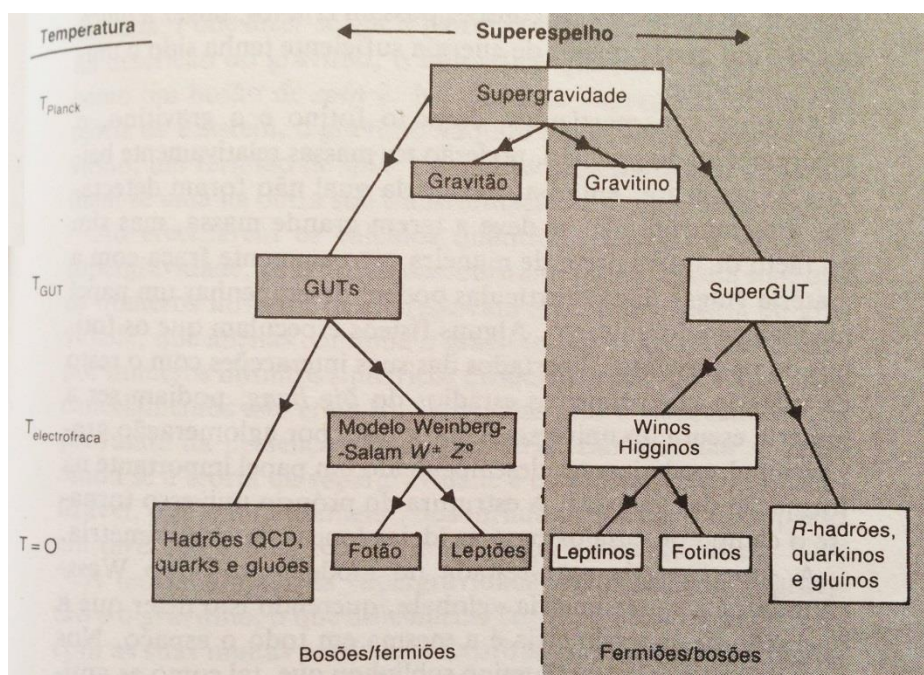


Figura 13 – O superespelho [25].

Em resumo, a relação entre os valores de spin inteiro e fracionário foi chamada supersimetria, e com estes resultados nasceu a teoria das supercordas ou teoria das cordas supersimétricas que é considerada a candidata principal e teoria unificada de Einstein pois inclui pela primeira vez todas as forças até mesmo a gravidade e toda a matéria [35].

A teoria das cordas supersimétricas contempla a presença de pares de cordas virtuais. Estas duas cordas que executam movimentos de vibração opostos podem surgir, momentaneamente, desde que se aniquilem uma à outra suficientemente depressa. Estes pares de cordas são provenientes das oscilações quânticas e vivem à custa de energia “emprestada” pelo universo e que, por essa razão, têm de se recombinar rapidamente num único "loop". Apesar de ser apenas momentânea, a presença transitória destes pares de cordas virtuais adicionais afeta as propriedades da corda aquando da interação.

As cordas incidentes combinam-se, as flutuações quânticas fazem que o “loop” resultante se separe num par de cordas virtuais e estas deslocam-se e aniquilam-se mutuamente, recombinando-se num único “loop”, que segue viagem até se produzir mais um par virtual de cordas e assim sucessivamente [15]. (Figura 14)

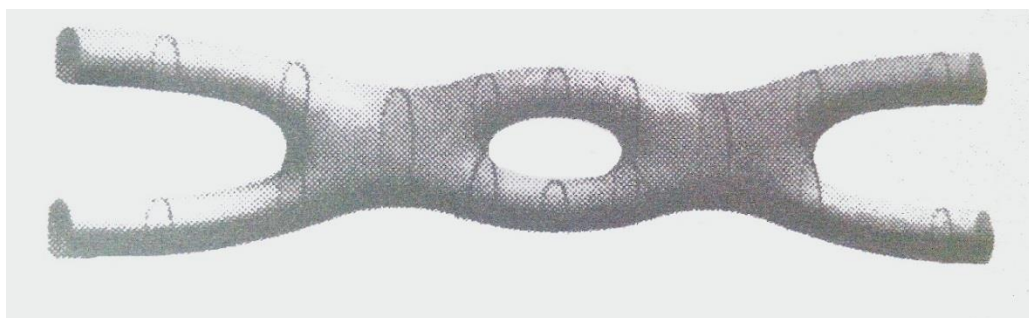


Figura 14 - As flutuações quânticas podem fazer com que se crie um par corda/anticorda e que este se aniquile dando origem a uma interação mais complicada [15].

Poder-se-á fazer alusão ao momento inicial do universo, em que todas as dimensões espaciais são igualmente simétricas e encontram-se todas enroladas, para mencionar um ponto subtil: se uma corda enrolada se encontra com uma parceira sua, a anticorda, elas irão aniquilar-se rapidamente, como já foi referido anteriormente, produzindo uma corda desenrolada.

Cerca de metade das colisões envolvem pares corda/anticorda e resultam na sua aniquilação, o que irá diminuindo o estrangulamento e permitindo que essas dimensões se continuem a expandir. Quanto mais se expandirem, menos possível se torna que as cordas se enrolem à sua volta porque é necessária mais energia para que uma corda se enrole à volta de uma dimensão maior. Então, será possível inferir que a expansão

sustenta-se a si mesma, tornando-se cada vez mais fácil à medida que a dimensão se torna maior [15].

Também pode acontecer que flutuações quânticas originem sequências numerosas de pares corda/anticorda que se criam e aniquilam. (Figura 15)

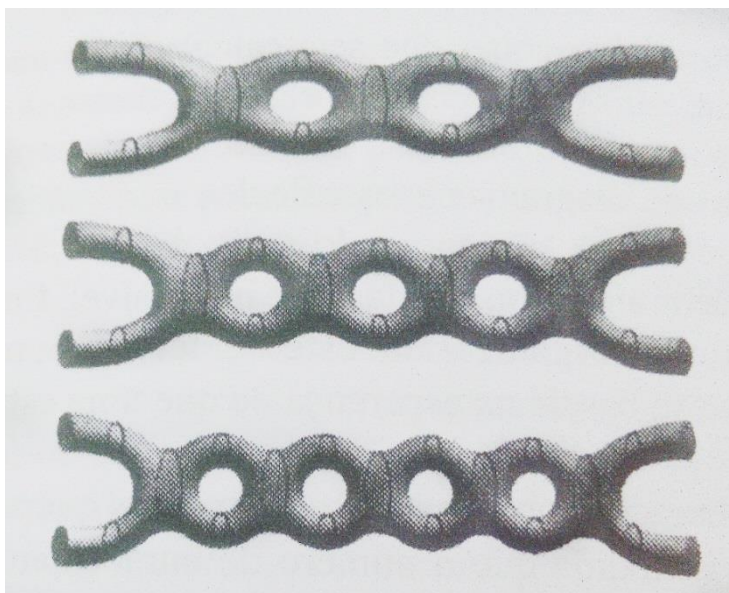


Figura 15- Sequências numerosas de pares de corda/anticorda [15].

Uma das propriedades fundamentais da teoria das supercordas é ser supersimétrica. Isto significa que os padrões de vibração das cordas vêm em pares que diferem um do outro por meia unidade de spin. Se a teoria estiver correta, devido ao emparelhamento da supersimetria, prevê-se que cada uma dessas partículas elementares tem uma parceira supersimétrica (como foi referido anteriormente). Podemos determinar as cargas de força que cada uma dessas parceiras vai transportar, mas não temos, atualmente, os meios para calcular as suas massas. Mesmo assim, a previsão da existência de parceiras supersimétricas é uma característica desta teoria [17].

Os físicos através do LHC, no CERN, têm esperança de conseguir encontrar as parceiras supersimétricas.

Por outro lado, se as partículas parceiras supersimétricas forem encontradas no LHC, este facto não será suficiente para pôr de parte a teoria das cordas, porque pode dar-se o caso de elas serem pesadas de mais e de estarem por esta razão para além do alcance desta máquina. Dito isto, se de facto as parceiras supersimétricas forem descobertas, isso será sem dúvida uma indicação crucial relativamente à validade da teoria das cordas [15].

Ao continuarmos a familiarizar-nos com a teoria das cordas, das supercordas e com a sua extensão (a teoria que a autora irá abordar seguidamente), as nossas conclusões cosmológicas irão tornar-se cada vez mais profundas [9].

### 13.4. Teoria M

Para além do problema das dimensões, a teoria das cordas colocava uma outra questão delicada: parecia haver pelo menos cinco teorias diferentes e milhões de maneiras segundo as quais as dimensões adicionais podiam estar enroladas (naquilo a que chamamos o espaço interno, por oposição ao espaço tridimensional que faz parte da nossa experiência diária) o que era visivelmente um excesso de possibilidades para aqueles que defendiam que a teoria das cordas era a teoria única de tudo.

Durante muitos anos, os físicos que trabalhavam nas cinco versões das teorias de cordas (tipo I, tipo II A, tipo II B, Heterótica-O e Heterótica-E, cada uma delas com seis dimensões espaciais extras) pensavam que estavam a estudar teorias completamente distintas. (Figura 16)

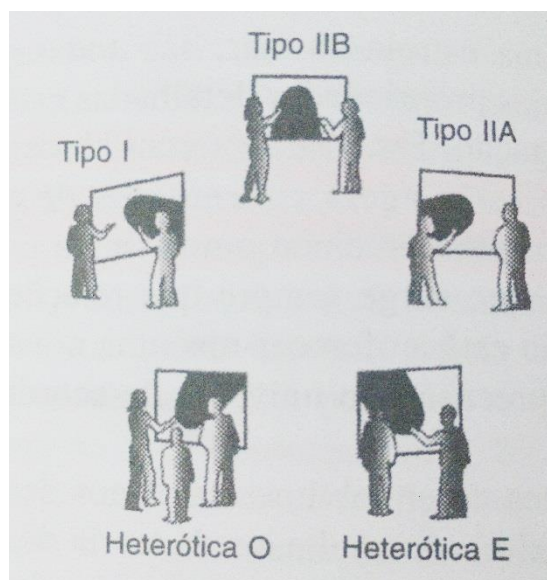


Figura 16- Cinco teorias de cordas [15].

Todavia, mediante resultados da segunda revolução de supercordas, por volta de 1994, os cientistas começaram a descobrir que as diferentes teorias das cordas e as diferentes maneiras de enrolar as dimensões adicionais são apenas maneiras diferentes de descrever o mesmo fenómeno em quatro dimensões o que mostra que as cinco teorias de cordas são,

na verdade, vistas como partes de um novo formalismo unificador ou teoria unificadora também chamada de teoria M [15]. (Figura 17)

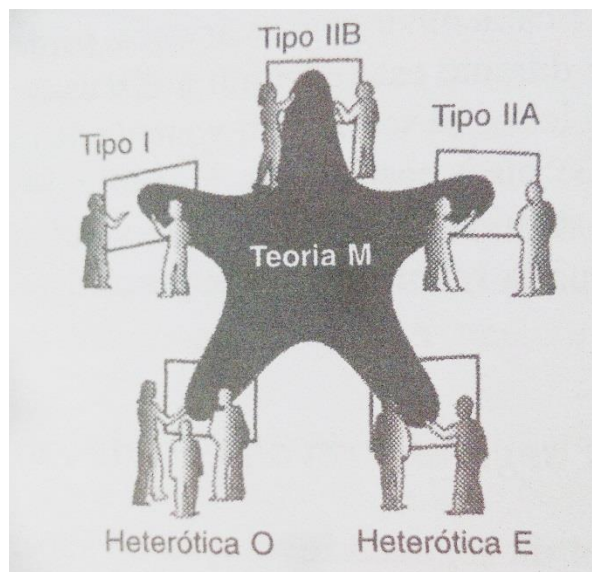


Figura 17 -Teoria M (unificação das cinco teorias das supercordas) [15].

Além disso, descobriram que todas as teorias combinam a relatividade generalizada com a supersimetria daí a designação de supergravidade. Os teóricos das cordas estão agora convencidos de que as cinco teorias das cordas e a supergravidade são apenas aproximações a uma teoria fundamental, cada uma delas válida em diferentes situações. Esta teoria mais abrangente é designada por teoria M, como referimos anteriormente. Ninguém sabe exatamente a que se refere o M, “Mestre”, “Milagre”, “Mistério”, “Mãe”, “Membrana” ou “Matriz” uma vez que parece ser qualquer uma delas [15].

Sabe-se que numa fase inicial, mais precisamente em 1919, Kaluza propôs que o universo tivesse nove dimensões espaciais e uma dimensão temporal, num total de dez dimensões [8].

Mais tarde, Witten descobriu que um universo com onze dimensões de espaço-tempo providenciava um enquadramento que permitia unificar todas as teorias das cordas. Da mesma maneira que cinco casas quando vistas do solo parecem estar separadas, vistas do topo da montanha, fazem uso de uma dimensão vertical adicional, sendo perceptível que estão ligadas por uma dimensão espacial adicional. Daí que, a análise de Witten foi crucial para descobrir as conexões entre as cinco teorias das cordas.

Assim sendo, na realidade, a teoria das cordas, para admiração de muitos teóricos das cordas, requer dez dimensões espaciais e uma temporal, num total de onze dimensões espaciotemporais (dez de espaço e uma de tempo) [15].

Além disso, a teoria M pode conter não só cordas vibratórias (chamadas um-branas) mas também partículas pontuais (chamadas zero-branas), membranas bidimensionais vibrantes (chamadas dois-branas), gotas tridimensionais (chamadas três-branas) e outros objetos mais difíceis de visualizar e que ocupam até nove dimensões do espaço. Estes objetos são designados por p-branas (em que p vai de zero a nove) [19].

Descobriram que algo conhecido como zero-brana, anteriormente referido, é possivelmente o “ingrediente” principal da teoria M e é um objeto que se comporta como uma partícula pontual a grandes distâncias mas que tem propriedades diferentes a distâncias curtas podendo dar-nos uma ideia do que é esse reino sem espaço nem tempo.

A física moderna sugere que possamos estar imersos como, por exemplo, num oceano de Higgs ou menciona ainda que o espaço será preenchido com energia escura. Contudo, nenhuma delas é óbvia à percepção humana. Há uma outra influência profunda das branas<sup>8</sup> na visão do mundo da teoria das cordas/M, onde são feitas especulações sobre o espaço-tempo. Segundo a teoria M, o nosso mundo pode ser um mundo de dimensões mais elevadas designadas de branas [15].

Se estivéssemos a viver numa brana, não estaríamos completamente isolados das dimensões extra. Através da força gravitacional poderíamos, quer influenciar quer ser influenciados pelas dimensões extra. A gravidade proporcionaria o nosso único meio de interagir para além das nossas três dimensões espaciais.

Sugerem ainda que, mediante esta teoria M, vivemos dentro de uma três-brana que colide violentamente, com outra três – brana próxima e paralela [35].

Esta teoria é o “elefante teórico” que abriu os olhos dos físicos da teoria de cordas pois tal como num elefante podemos analisar dentes, pernas e cauda e temos descrições diferentes num único corpo, mediante as cinco versões das teorias de cordas e a supergravidade será possível atingir um formalismo unificador muito maior [15]. (Figura 18)

---

<sup>8</sup> Qualquer dos objetos extensos da teoria de cordas. Uma um-brana é uma corda, um dois-brana é uma membrana, uma três – brana tem três dimensões escondidas, ..., uma p-brana tem p dimensões espaciais. São a base da Teoria M [15].

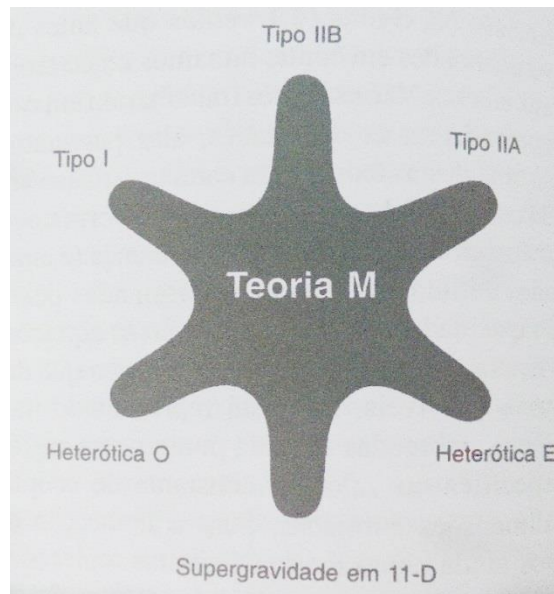


Figura 18 – Teoria M (engloba as cinco teorias de cordas, a supergravidade em onze dimensões e permite a combinação num formalismo unificado) [15].

Witten, após investigações, mostrou também que a curva correspondente à força gravítica, visualizar figura 19, se altera até se combinar com as outras forças o que demonstrou que no contexto da teoria M, as intensidades das quatro forças encontram-se naturalmente (teoria M e a unificação de todas as forças) [15].

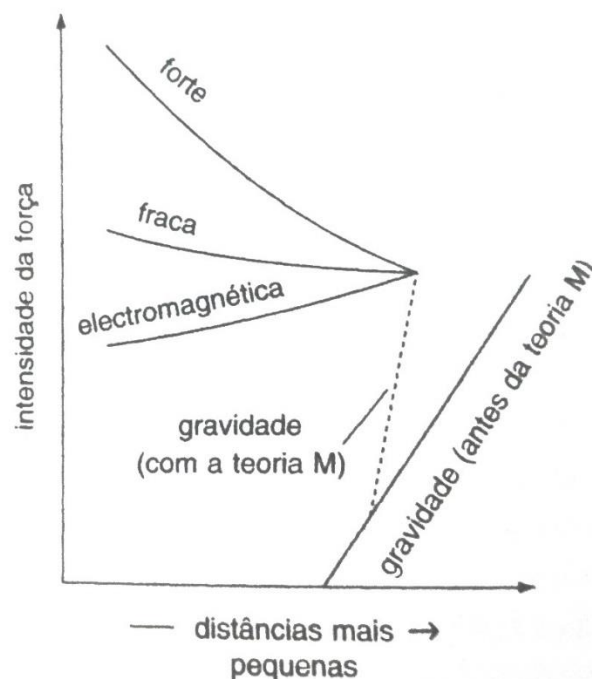


Figura 19 – Gráfico da intensidade da força versus distância (demonstra a unificação de todas as forças mediante a teoria M) [15].

O objetivo da teoria das cordas é a unificação de todas as forças e de toda a matéria num enquadramento quântico.

Atualmente, nada ilustra melhor do que a descoberta que desencadeou a segunda revolução das supercordas, uma revolução que expôs outra dimensão escondida no tecido espacial, abriu novas possibilidades a testes experimentais da teoria das cordas, sugeriu que o nosso universo pode estar próximo de outros e conduzirá a uma nova teoria cosmológica mas a verdadeira natureza da teoria M continua a ser um mistério pois as equações da teoria das cordas são bastante complicadas e ninguém ainda conhece a sua forma exata.

## 14. CERN

### 14.1. Origem e história

Após a II guerra mundial, a ciência europeia estava atrasada e dada esta situação, um grupo de cientistas e políticos visionários, imaginou um laboratório europeu de pesquisa atômica. Em dezembro de 1951 é adotada uma resolução com vista à criação de um conselho europeu para pesquisa nuclear e, dois meses mais tarde, onze países assinam um acordo estabelecendo um conselho provisório. Nasceu deste modo o acrónimo CERN “Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire” ou European Council for Nuclear Research” [38].

O nome oficial é Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear “Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire”. Apesar do acrónimo corresponder à derivação francesa, a organização concordou em mantê-lo e não alterá-lo para OERN pois descendia diretamente do conselho europeu para a pesquisa nuclear.

A Organização Europeia para a Investigação Nuclear nasceu oficialmente a 29 de setembro de 1954, com um laboratório a noroeste de Genebra, o maior laboratório de física de partículas do mundo, localizado em Meyrin, na fronteira Franco-Suíça. A França e a Dinamarca são os precursores e grandes impulsionadores da criação deste laboratório, pelo que são designados como os pais fundadores. O foco inicial da investigação no CERN era o estudo do interior do átomo. Hoje em dia estudam-se as partículas físicas, constituintes fundamentais da matéria e as forças que atuam entre elas. É daqui que surge a designação atual “European Laboratory for particle physics”, isto é, Laboratório Europeu para Partículas Físicas [9].

O CERN tem cerca de vinte e um membros e, em 2010, tinha aproximadamente 2400 funcionários assim como mais de 11 000 cientistas e engenheiros [36].

O CERN foi a primeira organização científica internacional de que Portugal se tornou membro (em 1985). Esta adesão foi feita por intermédio do professor Doutor José Mariano Gago e teve um papel fulcral no desenvolvimento da física teórica de partículas em Portugal. Permitiu ainda a criação de um enquadramento para o financiamento das suas atividades, através do Fundo CERN, fomentando assim o seu crescimento. Este crescimento foi também potenciado pela modernização das universidades e pela introdução do estatuto da carreira docente [40].

O “Synchrocyclotron”, sincrociclotrão (SC), o primeiro acelerador do CERN, foi construído em 1957 e tinha uma energia de 600 *MeV*. Fornecia os feixes de partículas para as primeiras experiências do CERN em física nuclear e de partículas. A partir de 1964, esta máquina ficou dedicada à física nuclear, deixando a física de partículas para o “Proton Synchrotron”, ciclotrão<sup>9</sup> de prótons (PS) que era mais recente e simultaneamente mais potente [40].

O ciclotrão de prótons (PS) acelerou prótons pela primeira vez a 24 de Novembro de 1959, com um feixe de 28 *GeV* de energia. Com a construção de novas máquinas na década de 1970, o papel principal do PS passou a ser, e é ainda hoje, fornecer partículas aos novos aceleradores [40].

No ano de 1965, sabia-se que cada partícula tinha uma antipartícula. Contudo, não se sabia ao certo se a previsão de Dirac estaria certa. A resposta a esta questão foi encontrada neste idêntico ano com a observação de anti - deutério (o anti-núcleo do deutério, isto é, um anti-próton e um anti-neutrão) em simultâneo pelas equipas do CERN, e do Brookhaven National Laboratory, em Nova Iorque. Só em 1995, também no CERN, foram criados pela primeira vez átomos de anti-hidrogénio, na Low Energy Antiproton Ring Facility. Mais recentemente, em 2011, através da experiência ALPHA no Antiproton Decelerator foi conseguido o armazenamento de anti-hidrogénio durante mil segundos [40].

O Super Proton Synchrotron (SPS), o primeiro anel subterrâneo do CERN, iniciou funções a 17 de Junho de 1976 e foi transformado em acelerador próton-antipróton em 1979. A técnica de arrefecimento inventada por Simon van der Meer permitiu obter os antiprótons necessários para fazer um feixe. As primeiras colisões ocorreram em 1981 e permitiram a procura de assinaturas dos bosões W e Z [59]. (Figura 20)

---

<sup>9</sup> Acelerador circular onde as partículas percorrem uma circunferência fixa e no qual o campo magnético cresce em sincronia com o aumento de energia das partículas [33].

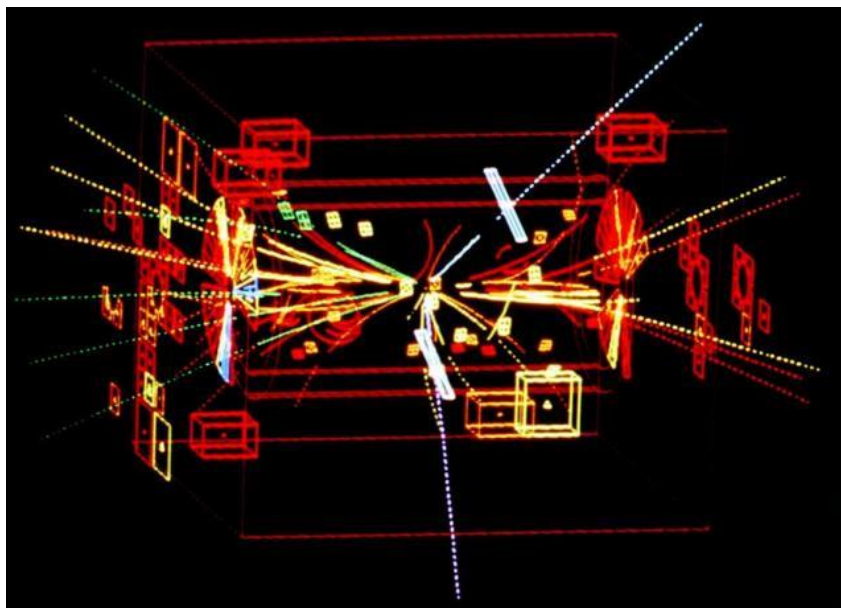


Figura 20 - Descoberta das partículas W e Z [59].

A descoberta destes bosões foi anunciada em 1983, o que valeu a atribuição do prémio Nobel a Carlo Rubbia e Simon van der Meer em 1984.

Em 1986, foram acelerados iões pesados no SPS para confirmar a existência do plasma de quarks e gluões, que existiu poucos instantes após o Big Bang. O objetivo era “desconfinar” os quarks, libertá-los do seu confinamento no interior dos núcleos fazendo colidir iões pesados com alvos definidos. Os resultados foram consistentes com a teoria do plasma de quarks e gluões mas não há uma verdadeira prova.

O grande acelerador eletrão-positrão (LEP), o maior projeto de engenharia civil na Europa foi terminado a 8 de Fevereiro de 1988 e inaugurado em 1989. Esta máquina precisou de um túnel novo, com 27 quilómetros de perímetro e a 100 metros de profundidade, ao longo da fronteira franco-suíça. Durante sete anos, o acelerador funcionou a uma energia de 100  $GeV$  no centro-de-massa, produzindo cerca de 17 milhões de partículas Z. Mais tarde, foi adaptado para uma segunda fase de operações com o dobro da energia, para produzir pares de bosões W. As experiências do LEP estudaram a interação electrofraca ao pormenor, e provaram que existem três gerações de partículas de matéria [40].

Em 1990, foi definido o conceito da World Wide Web e escrito por Tim Berners-Lee o software para o primeiro browser. Várias vezes o CERN foi o impulsionador de grandes avanços técnicos que se tornaram públicos pelo simples facto da organização publicar

todos os seus trabalhos ou descobertas no domínio público, como foi o caso da invenção da Web [40].

Em 1994, deu-se início uma nova geração de experiências com iões de chumbo. A operação do LEP terminou a 2 de Novembro de 2000 para que se desse lugar ao grande acelerador de partículas (LHC) no mesmo túnel, pois havia fortes sinais de que um novo estado da matéria tinha sido criado.

O LHC entrou em funcionamento a 10 de Setembro de 2008. Todavia, houve problemas na máquina e alguns cientistas acusam o CERN de não ter realizado os estudos de impacto ambiental necessários. Outros acreditavam que este equipamento poderia provocar uma catástrofe de dimensões globais, como um buraco negro que acabaria por destruir a Terra.

Apesar das especulações de uma suposta criação de um buraco negro, o que de facto poderia ocorrer seria a formação de *strangelets* (à falta de tradução poderíamos chamá-lhes “estranheletos”), estados ligados de quarks *up*, *down* e estranho em iguais quantidades. A estabilidade deste tipo de estado exótico da matéria, é, obviamente, desconhecida, mas há a possibilidade de aumentar com o tamanho do aglomerado. Isto possibilitaria a conversão da matéria ordinária em matéria estranha por contacto, e uma reação em cadeia e gerando cada vez mais matéria estranha. No entanto, demonstrou-se que os riscos de conversão em matéria estranha seriam semelhantes aos oferecidos pelos raios cósmicos. O grande acelerador começou a trabalhar a sério a 20 de novembro de 2009. A primeira colisão entre protões ocorreu em 30 de Março de 2010 [6].

A partir de então, foi possível aumentar progressivamente a potência da circulação dos protões, até chegar a colisões de partículas a velocidades próximas da luz com o intuito de recriar os instantes posteriores ao Big Bang, o que dará informações essenciais sobre a origem e formação do universo [38].

Num seminário realizado no CERN a 4 de Julho de 2012, as experiências ATLAS e CMS do LHC anunciaram a observação de uma nova partícula com uma massa de cerca de 125 *GeV*, provavelmente o bosão de Higgs. Desde então, foi confirmada a existência do bosão de Higgs, a peça do puzzle em falta nas previsões do modelo padrão da física de partículas, e as experiências do LHC continuam a estudar as suas propriedades.

O LHC está agora a retomar a operação a uma energia dos feixes de  $13 \text{ TeV}$  e os físicos de partículas preparam-se para procurar respostas para algumas das muitas questões em aberto nesta área.

## 14.2. Aceleradores e experiências relevantes

Até agora ficaram por abordar alguns conteúdos importantes que estão relacionados com as forças da natureza. A força mais conhecida, a do campo gravitacional, é também a força mais fraca e a que mantém o planeta em órbita à volta do sol. Segue-se a força eletromagnética, que mantém, à volta do núcleo do átomo, os eletrões em órbita. As outras duas são designadas por força nuclear fraca e força nuclear forte. A força nuclear fraca é importante em fenómenos como o decaimento radioativo. Já a força nuclear forte mantém unidas as partículas do núcleo (protões e neutrões). A esta força forte estão associados os quarks (partículas quânticas responsáveis pela coesão do núcleo atómico). Os hádrões são as partículas compostas por quarks e a coesão dos hádrões é conseguida à custa da força nuclear forte entre os quarks.

Estas são as quatro forças da natureza, e tanto quanto sabemos, diferem significativamente entre si, em intensidade e alcance. Tanto o campo gravitacional como o campo eletromagnético têm um alcance infinito, em contrapartida, o campo de forças nuclear, atua apenas sobre distâncias muito pequenas. Os cientistas demonstram que estas quatro forças podem ter sido uma só, a força primitiva, aquando da origem do universo. Porém, à medida que o universo teve a sua expansão, as forças separaram-se. A primeira força a separar-se foi a da gravidade, seguidamente, a força nuclear forte, e por último a separação entre as forças eletromagnética e nuclear fraca, originando assim as quatro forças que atualmente encontramos na natureza. (Figura 21)

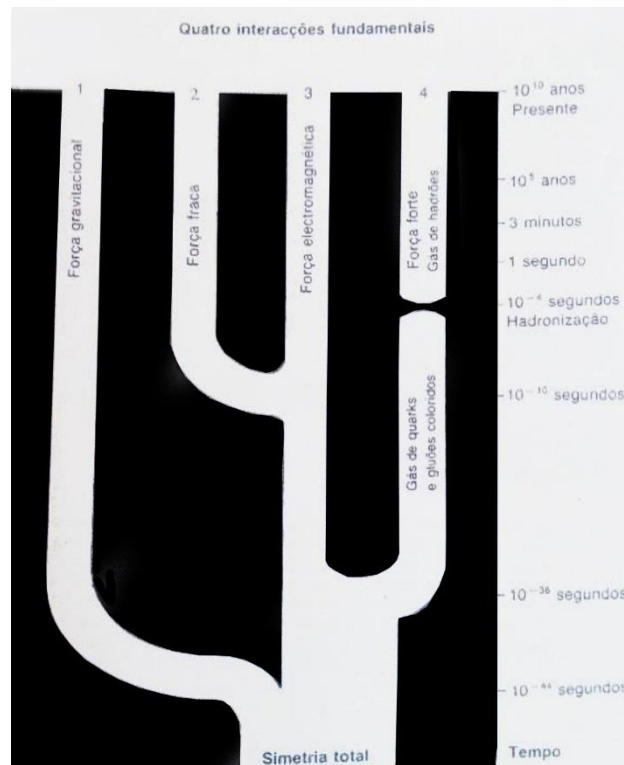


Figura 21 - Separação das quatro forças da natureza à medida que o universo arrefece [25].

Para estudar as partículas que constituem o núcleo atômico ou para investigar as propriedades das forças nucleares, fazem-se sempre experiências de colisões, bombardeando os núcleos com partículas dotadas de energia elevadíssima, que conseguem entrar nos núcleos atômicos, produzindo fenômenos que fornecem aos físicos dados que não poderiam obter de outra forma. Deste modo, ao estudar as modalidades em que se dão as colisões, podem determinar-se as características dos corpúsculos e das forças intervenientes. Para fazer uma experiência de colisões é necessário uma máquina aceleradora para produzir as partículas incidentes (Figura 22), por exemplo o LHC.



Figura 22 – Grande acelerador de partículas (LHC) *(fotografia: Cátia Mendes)*

Para as suas experiências o CERN necessita à partida de hidrogénio, pois os protões são produzidos a partir de átomos de hidrogénio dos quais se extraem os electrões. Os protões começam o seu percurso num acelerador de partículas linear, o LINAC 2 e depois são injetados sucessivamente no injetor do PS e no SPS antes de chegarem ao LHC.

Podem necessitar também de chumbo e neste caso os iões de chumbo são produzidos a partir de chumbo vaporizado antes de serem enviados no LINAC 3. Seguidamente, são acelerados no Low Energy Ion Ring (LEIR) e seguem o mesmo trajeto que os protões. (Figura 23)

## CERN Accelerator Complex

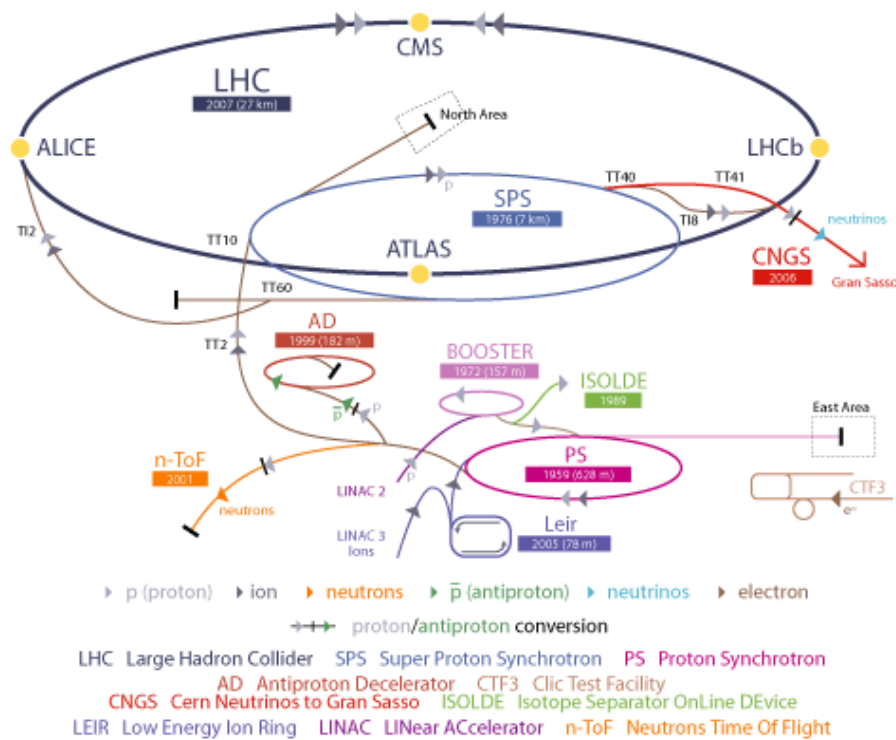


Figura 23 - Complexo de aceleradores do CERN [41].

Só depois de atingirem uma energia de  $0,45 \text{ TeV}$ , os feixes são injetados no anel do LHC. O LHC faz circular os prótons em dois tubos: um num sentido horário e outro num anti-horário, para que os feixes possam colidir em determinados locais (onde se situam as experiências) depois de percorrer milhares de voltas. Em cada volta os feixes recebem um impulso adicional de um campo elétrico contido em cavidades especiais até atingirem a energia final de  $7 \text{ TeV}$ . Para controlar os feixes a elevadas energias o LHC usa 1800 sistemas magnéticos supercondutores. Estes electromagnetos são construídos através de materiais supercondutores magnéticos. Estes materiais operam a temperaturas extremamente baixas, conduzem eletricamente e sem resistência e assim conseguem produzir campos magnéticos fortes. Ao afinar, delicadamente, os campos magnéticos de confinamento e os campos elétricos para fazer a aceleração das partículas, os físicos conseguem produzir condições que nunca seriam vistas da terra.

Os instrumentos usados no CERN são essencialmente os aceleradores e os detetores de partículas. O CERN apresenta um conjunto de seis aceleradores. Cada um tem por

finalidade aumentar a energia do feixe das partículas recebidas antes de as enviar a experiências ou a outro acelerador.

O LHC acelera dois feixes de partículas a altas energias, que irão colidir em quatro pontos dentro do acelerador, onde estão instalados detetores de partículas de dimensões colossais, nomeadamente, ATLAS, ALICE, CMS e LHCb (localizam-se no subsolo em enormes cavernas no anel do LHC) para registar os resultados destas colisões [37]. (Figura 24)

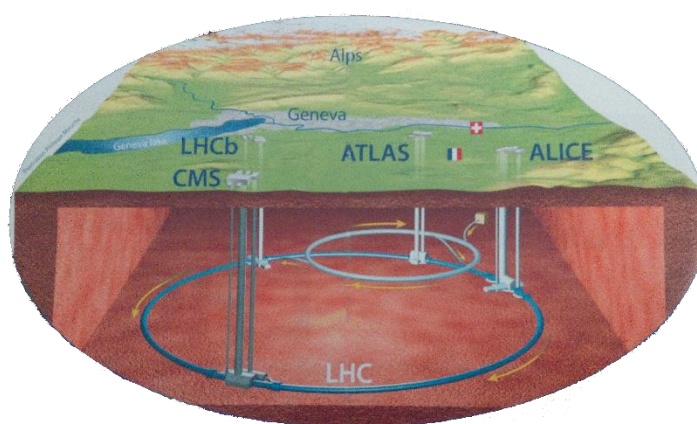


Figura 24 – Poster com detetores de partículas do LHC (fotografia: Cátia Mendes)

No total temos sete experiências no LHC (ATLAS, ALICE, CMS, LHCb, TOTEM, LHCf e MOEDAL) sendo as maiores ATLAS e CMS e as menores TOTEM, LHCf e MOEDAL, que somente se focalizam em fenómenos específicos [43].

O **ATLAS**, do inglês “A Toroidal LHC ApparatuS”, situado numa caverna 100 metros abaixo do solo (perto da aldeia de Meyrin na Suíça) tem de comprimento 46 metros, 25 metros de altura e com 7000 toneladas é o detetor maior e mais complexo do mundo jamais construído para uma experiência de física de partículas. É um detetor de partículas semelhante ao CMS, mas de maiores dimensões e de conceção diferente. (Figura 25)

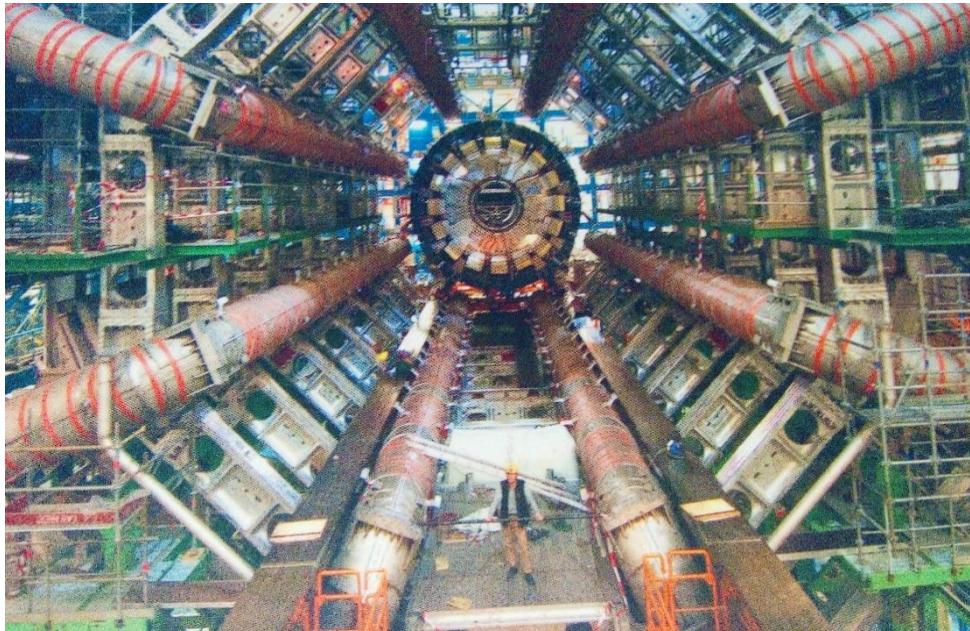


Figura 25 – Dispositivo Instrumental Toroidal para o LHC (ATLAS)

(fotografia: Cátia Mendes)

Em 2010, o Atlas começou a observar a espetacular colisão de pares de prótons de energia a  $7\text{ TeV}$ . As colisões frontais dos prótons no centro do detetor produzem fragmentos que originarão as novas partículas e os processos associados.

A estrutura do detetor em sucessivas camadas permite determinar as trajetórias de partículas carregadas e medir a energia destas partículas, assim como das neutras. Assim, esta experiência apresenta um detetor interno que mede a quantidade de movimento das partículas carregadas; calorímetros que medem a energia transportada ou transferida para as partículas, um espectrómetro que identifica e mede a quantidade de movimento dos múons (que não se detêm no calorímetro) e um sistema de ímanes que curvam a trajetória das partículas carregadas para que se possa medir a sua quantidade de movimento.

Os seis diferentes subsistemas de deteção dispostos em camadas ao redor do ponto de colisão gravam os caminhos, momento e energia das partículas, permitindo que eles sejam identificados individualmente.

As interações nos detetores ATLAS criam um enorme fluxo de dados e entre os mil milhões de colisões produzidas por segundo somente algumas possuem as características particulares que podem levar a descobertas.

O sistema de acionamento, sistema de “trigger”, seleciona esses eventos para evitar guardar e registar uma enorme e desnecessária quantidade de informações. Seguidamente,

sistemas de aquisição de dados e de computação complexos são utilizados para analisar os acontecimentos registados na colisão [44].

O ATLAS tem por finalidade detetar o bosão de Higgs, dimensões extra e ainda partículas supersimétricas que são previstas pela teoria da supersimetria (SUSY) mas que ainda não foram detetadas experimentalmente [44].

O ATLAS irá ainda estudar diferenças entre as propriedades da matéria e da antimatéria e talvez possa revelar alguma pista sobre a matéria escura.

**O ALICE**, do inglês, “A Large Ion Collider Experiment”, é um detetor com 6 metros de comprimento, 16 metros de altura e 16 metros de largura que fica situado numa caverna na França. (Figura 26)

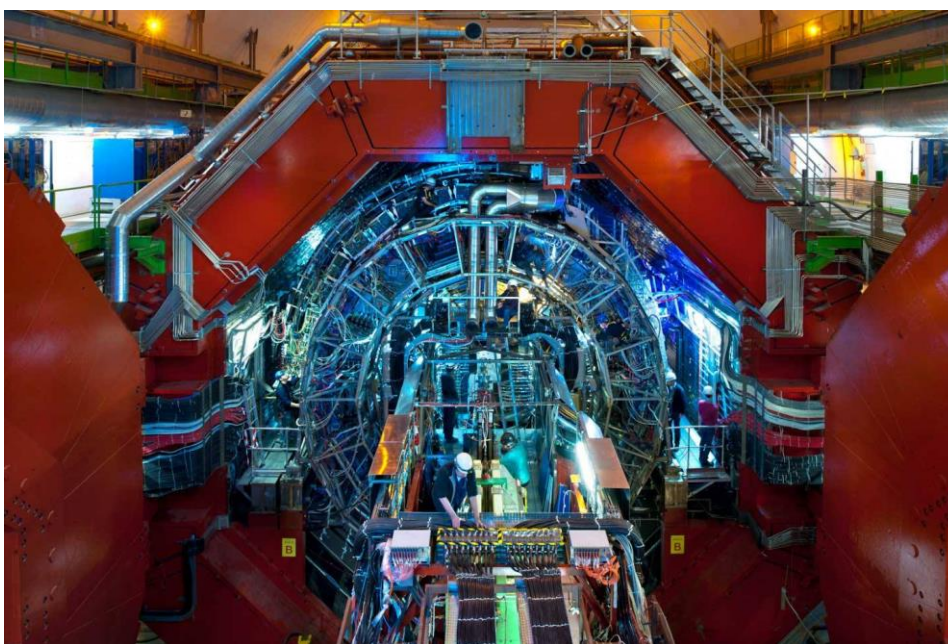


Figura 26 – Experiência do Acelerador de Iões Pesados (ALICE) (fotografia: Cátia Mendes)

O LHC fornece colisões entre iões de chumbo, recriando em laboratório condições similares àquelas que existiram logo após o Big Bang. Sob estas condições extremas, prótons e neutrões "derretem", os quarks são libertados novamente e os detetores podem observar e estudar a sopa primordial ou plasma de quarks e gluões (QGP), para averiguar as propriedades básicas das partículas e analisar como se agregam para formar a matéria

fundamental. O detetor ALICE destina-se ao estudo deste plasma de quarks e gluões no anel de LHC e tem como principal objetivo descobrir qual o mistério inerente à matéria densa e quente que é criada aquando da colisão de iões pesados a altas energias (Figura 27) [46].

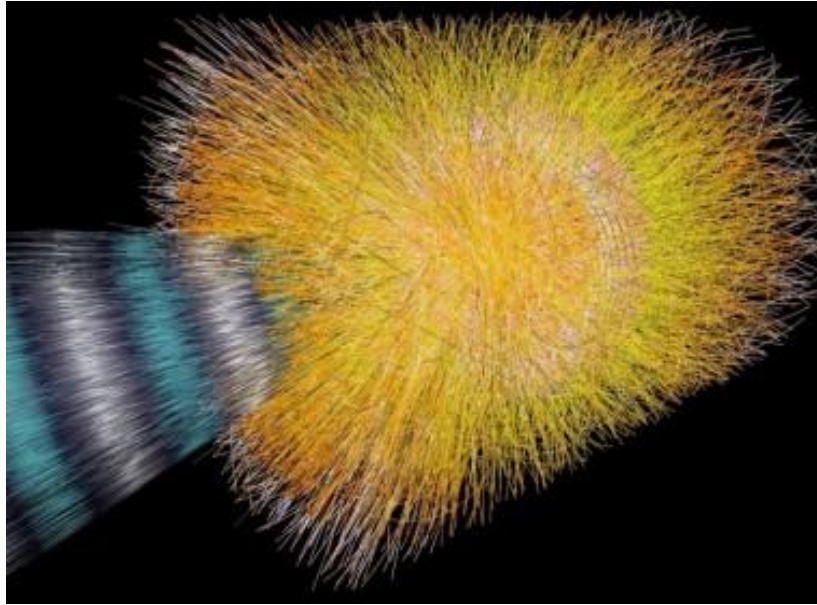


Figura 27 - Simulação de uma colisão de ião chumbo no detetor ALICE [56].

O **CMS** (Compact Muon Solenoid) situado na caverna de Cessy (França), é um detetor de partículas para observar as colisões de feixes de prótons no CERN. O CMS tem 20 metros de comprimento, 15 metros de largura e 15 metros de altura e é como uma câmara digital 12500 toneladas, com cerca de 100 milhões de *pixels* que tira uma foto 3 D das colisões no LHC 40 milhões de vezes por segundo [42]. (Figura 28)



Figura 28 – Solenóide compacto para muões (CMS) (fotografia: Cátia Mendes)

O detetor CMS é construído à volta de um enorme solenóide magnético. Este apresenta uma forma cilíndrica, de cabo supercondutor que gera um campo de 4 Tesla. Uma característica incomum deste detetor foi o facto de ser construído em 15 seções ao nível do solo antes de ser reduzido a uma caverna subterrânea.

O CMS embora tenha os mesmos objetivos científicos que o ATLAS, usa soluções técnicas assim como um *design* no sistema magnético diferentes [45].

O **LHCb**, do inglês, “**L**arge **H**adron **C**ollider **b**eauty”, é um detetor com 5600 toneladas, tem 21 metros de comprimento, 10 metros de altura, 13 metros de largura e fica a 100 metros abaixo do solo perto da aldeia de Ferney-Voltaire, França [47]. (Figura 29)



Figura 29 – Panfleto do Grande acelerador de partículas elementares - quark b (LHCb) (fotografia: Cátia Mendes)

O Large Hadron Collider beauty (LHCb) estuda a assimetria entre matéria e antimatéria presente nas interações de partículas que contêm o quark b (bottom, também chamado de beauty) e foi especificamente desenhado para *observar* estas partículas e os produtos do seu decaimento.

O detetor LHCb estende-se ao longo de um tubo, de comprimento total de 21 metros, onde o primeiro subdetetor está instalado perto do ponto de colisão e os seus subdetetores estão dispostos ao lado uns dos outros. Os seis tipos de quarks são criados pelo acelerador. Os quarks b têm um tempo de vida da ordem do milionésimo de milionésimo de segundo. No entanto, é o tempo suficiente para serem afetados por efeitos quânticos subtis, como por exemplo, aqueles que decorrem dos chamados “loops de pinguim” (porque o diagrama que descreve as interações de partículas se pode assemelhar a um pinguim numa certa configuração. (Figura 30)

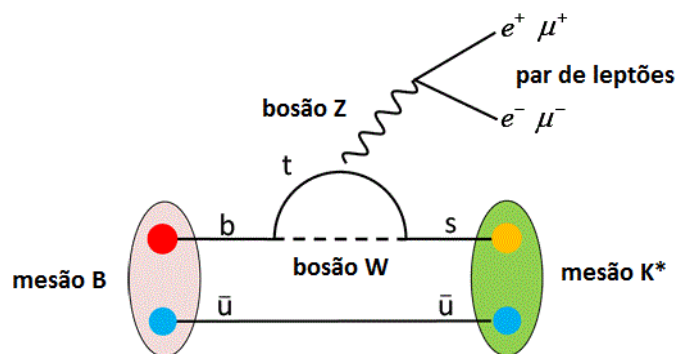


Figura 30 - Diagrama “Pinguim” usado no LHC<sub>b</sub> [55].

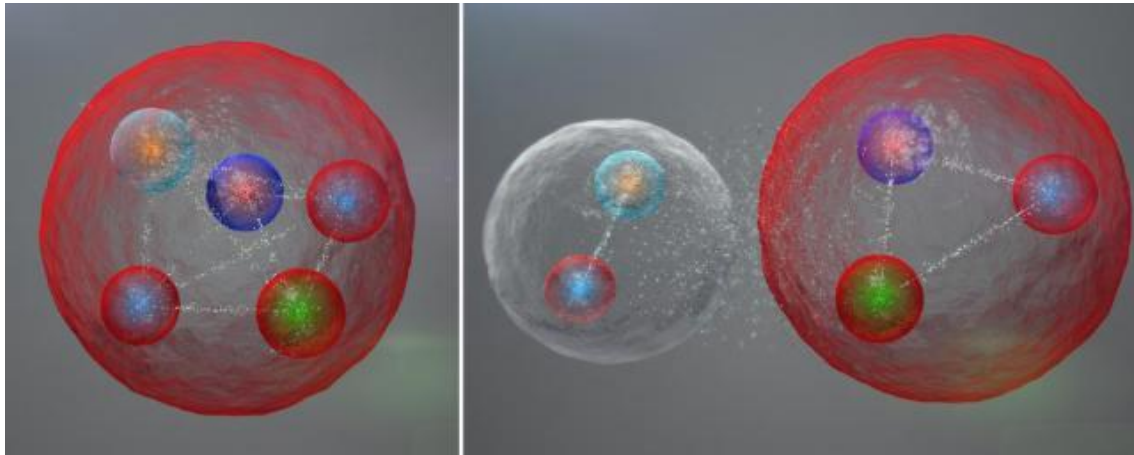
Os loops de pinguim descrevem um fenômeno efêmero pelo qual as partículas são criadas virtualmente por um pequeno momento. Em particular, um quark b pode mudar de sabor para um quark t através de um loop com um bosão W ou Z. O quark t virtual decai em seguida para novas partículas.

Ao estudar com precisão a ligeira diferença que existe entre as desintegrações de quarks e antiquarks, o LHC<sub>b</sub> contribuiu para desvendar um dos grandes mistérios do universo e também nos dá indícios da existência de uma nova família de partículas que podem fazer parte da matéria escura que preenche o nosso universo.

Recentemente, mais concretamente a 14 de julho de 2015, o CERN anunciou a descoberta do "pentaquark", uma classe de partícula exótica, de vida curta, constituída por cinco quarks unidos para formar um estado exótico da matéria, uma partícula que foi estudada teoricamente há algum tempo atrás mas ainda não tinha sido comprovada experimentalmente [59]. Este tipo de partícula foi descoberto por investigadores que analisaram os dados do LHC<sub>b</sub> [62].

É importante recordar que os quarks são os constituintes de partículas subatômicas regulares, os chamados hádrões. Hádrões esses que poderão designar-se por bariões (que contêm 3 quarks) e mesões (que contêm 2 quarks).

Contudo, ainda há alguma dúvida quanto à configuração dos pentaquarks: se são os quarks todos unidos como uma partícula de 5 quarks ou se há uma partícula de 3 quarks (bariónica) e uma partícula de 2 quarks (mesão) interagindo entre si para formar uma de 5 quarks. (Figura 31)



**a)**

**b)**

Figura 31 – Representação de “pentaquarks”. **a)** Os cinco quarks podem estar ligados de forma coesa à esquerda ou **b)** apresentarem uma ligação fraca sob a forma de um mesão (um quark e um antiquark) e um barião (três quarks) à direita [59].

Até à presente data, a configuração do “pentaquark” ainda não é exatamente conhecida, mas o que se sabe é que existe, e que o LHCb continuará a examinar as suas propriedades, revelando assim mais detalhes sobre a natureza desta partícula [63].

Esta descoberta será uma mais valia para o estudo da força nuclear forte e irá auxiliar a compreensão da cromodinâmica quântica (a teoria que descreve as forças que mantêm os quarks unidos).

**O TOTEM**, do inglês, “Total Elastic and diffractive cross section Measurement”, é designado como a experiência “mais comprida” do CERN, apresenta 440 metros de comprimento, 5 metros de altura e 5 metros de largura. O TOTEM tem quase 3.000 kg de equipamentos, incluindo, vários tipos de detetores [48]. (Figura 32)

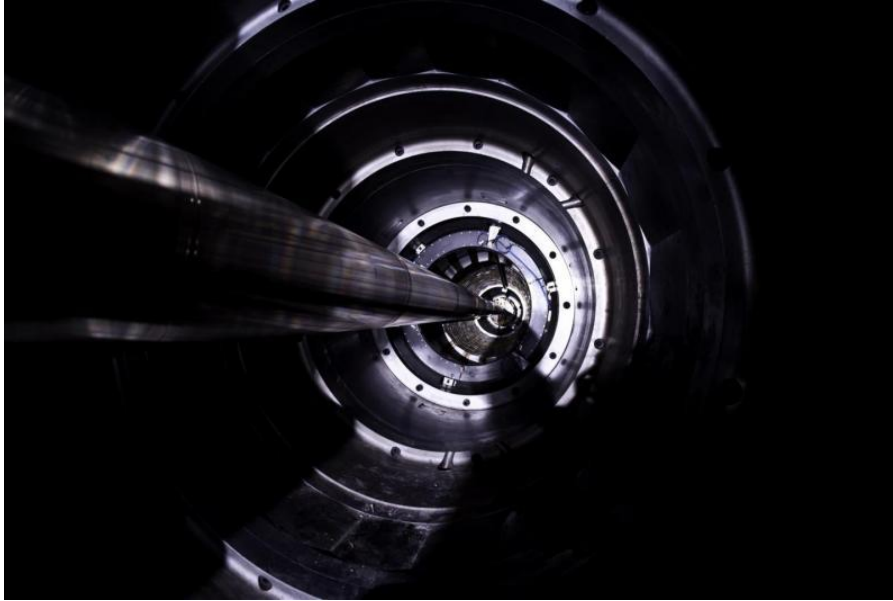


Figura 32 – Medição da secção transversal elástica e difrativa total (TOTEM) [48].

O TOTEM tem por objetivo estudar a física dos prótons, aproveitando os que emergem das colisões do LHC em pequenos ângulos.

Na experiência TOTEM, os detetores, chamados de "Roman Pots", são instalados na câmara de vácuo que está ligada ao ponto de interação IP5 do LHC e servem para identificar as trajetórias de prótons [51].

O TOTEM mede a chamada secção eficaz de colisão do próton no LHC, o que corresponde a determinar a secção transversal efectiva que um próton oferece a outro num evento de colisão. Esta grandeza serve, entre outras coisas, para medir o tamanho dos prótons, calcular precisamente a luminosidade do LHC e estudar a cromodinâmica quântica, já que a secção eficaz de colisão depende das interações entre os quarks constituintes do próton.

**O LHCf**, sigla inglesa de "Large Hadron Collider Forward", (Figura 33) é uma pequena experiência localizada em Meyrin, Switzerland. Ela estuda, tal como o TOTEM, as partículas criadas no interior do LHC do CERN, isto é, mede as partículas produzidas em ângulos pequenos em colisões próton-próton no LHC e permite simular os raios cósmicos em condições laboratoriais. Os raios cósmicos são partículas carregadas que ocorrem naturalmente no espaço exterior e bombardeiam constantemente a atmosfera terrestre. Colidem com núcleos, na atmosfera superior, desencadeando uma "cascata" de partículas que atinge o nível do solo. Estudar como as colisões no interior do acelerador causam

“cascatas” de partículas vai ajudar os físicos a interpretar os resultados de experiências de raios cósmicos de grande escala [49].

Para medir essas partículas, dois detectores, Arm1 e Arm2, (cada um com 30 cm de comprimento, 10 cm de altura, 10 cm de largura e 40 kg) encontram-se ao longo da linha do feixe do LHC, a 140 metros de cada lado do ponto de colisão ATLAS. Esta localização permite a observação de partículas espalhadas no regime quasi-frontal (ângulos de espalhamento muito próximos de  $0^\circ$ ) [49].

Os detectores LHCf têm sido atualizados e melhorados ano após ano. Os resultados do LHCf em colisões usando energia de  $7\text{ TeV}$  estão de acordo com as previsões do modelo padrão para o fóton e para a produção de píões neutros, mas não para a produção observada de neutrões. Atualmente a operação é efetuada a  $13\text{ TeV}$  e dá-nos a grande oportunidade para confirmar os resultados desejados [57].



Figura 33 – Grande acelerador de partículas para a frente (LHC<sub>f</sub>) [49].

O MOEDAL, de sigla “Monopole and Exotics Detector At the LHC” é a experiência mais recente do LHC aprovado em 2010. (Figura 34)

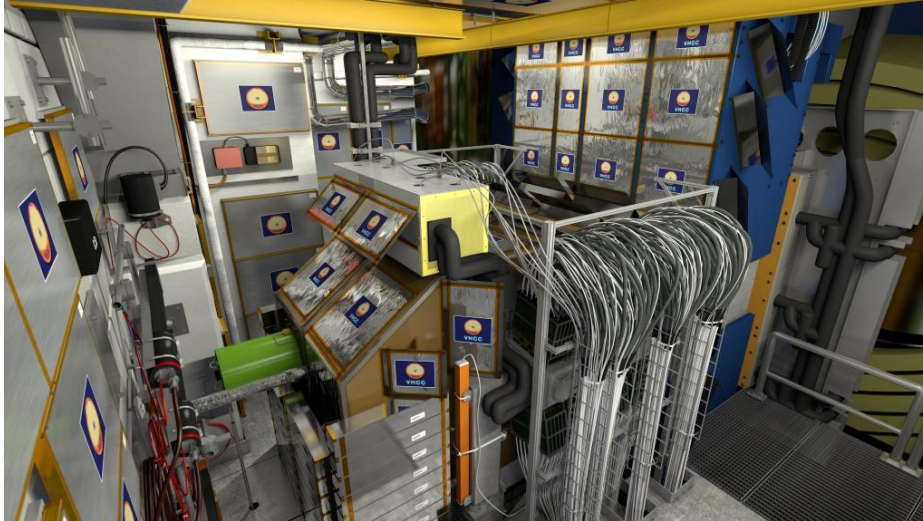


Figura 34 - Detetor de monopólo e partículas exóticas no LHC (MOEDAL) [53].

O MOEDAL, partilha a “caverna” no ponto 8 com o LHC<sub>b</sub> e utiliza detetores instalados perto deste para procurar uma partícula hipotética, com carga magnética, chamada de monopólo magnético [43].

Este detetor em intersecção com o detetor LHC<sub>b</sub> e colocado em torno da mesma região é como uma câmara gigante esperando para fotografar sinais reveladores de nova física e os detetores traços nucleares de plástico (plastic nuclear track detectors) são o seu "filme".

Se existem monopólos magnéticos, eles podem ser formados em colisões no LHC e rasgar as moléculas de cadeia longa dos detetores nucleares de plástico, criando um rasto. Uma indicação clara do caminho de um monopólo seria um conjunto alinhado de buracos, com a trajetória apontando para o ponto de colisão [50].

Numa colisão, conserva-se a energia total, mas não a massa total. A massa é apenas uma forma de energia, e a energia pode ser conservada de uma forma para outra, desde que a quantidade total se mantenha constante. Quando colidem a grande velocidade, dois prótons poderão converter-se em partículas mais pesadas se a energia total for suficientemente grande. Podemos até colidir partículas sem massa para criar partículas com massa ou dois glúons sem massa podem colidir para criar um bóson de Higgs, se as suas energias combinadas forem superiores à massa de Higgs. (Figura 35)

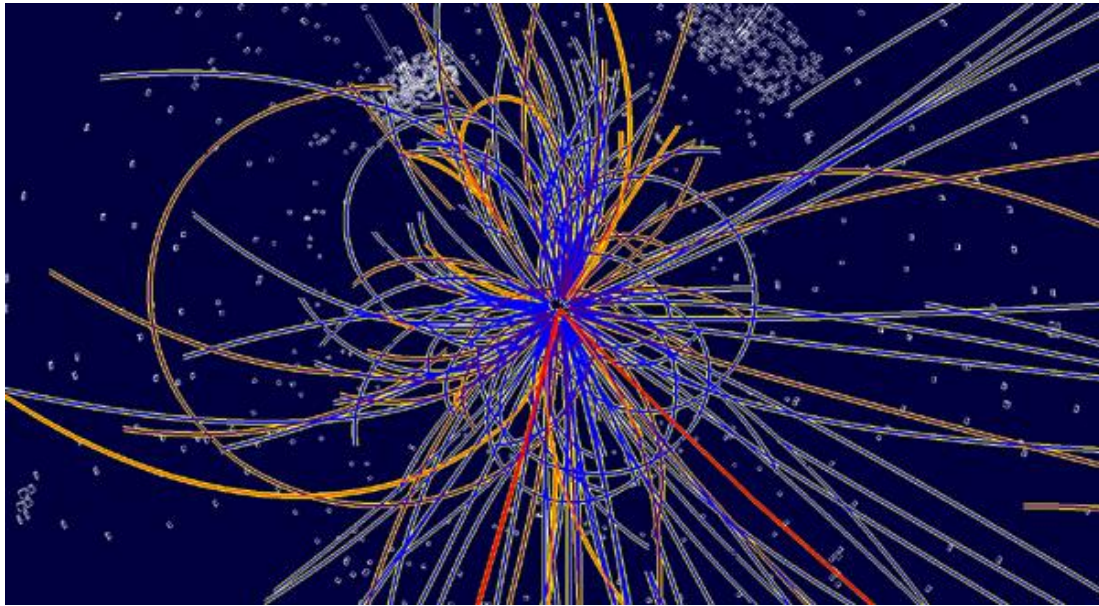


Figura 35 - Simulação de uma detecção do Bosão de Higgs no CMS [54].

O LHC tem como principais objetivos investigar as questões da energia escura, da matéria escura, dimensões extra, o bóson de Higgs e a supersimetria. Relativamente ao segundo objetivo, a quantidade e a distribuição da matéria escura são medidas com rigor através da sua gravidade, mas a sua natureza é desconhecida. A física das partículas sugere algumas hipóteses gerais sobre a forma desta matéria, mas apenas teremos certezas quando estas partículas exóticas forem medidas diretamente mediante experiências.

A matéria e a antimatéria foram produzidas no mesmo instante de tempo do Big Bang mas temos somente observado que é feito de matéria. O LHC ajudará também a investigar o mistério da antimatéria. Sabe-se que cada vez que os aceleradores fabricam um antiprotão, fabricam ao mesmo tempo um protão e vice-versa, e desta forma, em laboratório observa-se uma simetria perfeita entre matéria e antimatéria sendo possível simular as condições iniciais da origem do universo. Foi pensado que a antimatéria seria uma reflexão perfeita da matéria e que se as comparássemos num espelho não detetaríamos quaisquer diferenças. Atualmente sabemos que esta reflexão é imperfeita e que as proporções matéria - antimatéria são diferentes. O hidrogénio é o átomo mais simples de todos mas o que melhor nos mostra a assimetria matéria/antimatéria do universo [59].

Sabe-se que no CERN tem sido produzida antimatéria, mais concretamente, anti-hidrogénio e têm sido analisados os respetivos espectros (hidrogénio/anti – hidrogénio).

Não obstante as dificuldades, dado que a densidade de energia gerada por uma única colisão no LHC é comparável ao que foi gerado apenas momentos após o Big Bang, a recriação dessas condições é uma ótima maneira de voltar no tempo, do nascimento do universo e encontrar as respostas a questões fundamentais sobre os primórdios. Daí que, através do CERN e mediante as suas experiências e descobertas, seja possível melhorar a nossa visão e percepção do cosmos atingindo conhecimentos nunca antes alcançados.

## **Parte III – Projetos de Ensino**

### **15. Método experimental**

Nas últimas décadas verificou-se um extraordinário desenvolvimento científico e tecnológico, ocorrendo mudanças nos hábitos e nas atitudes. Contudo, várias vezes se afirma que nada surpreende os alunos e que não há lugar para a surpresa.

Tanto na investigação científica, como na inovação tecnológica, como ainda na educação, utiliza-se a informação previamente adquirida para a compreensão de fenômenos e das experiências que são novidade. Em qualquer dos casos a surpresa funciona como uma “alavanca” de curiosidade ou um estímulo à interrogação.

Assim sendo, torna-se relevante a criação de novas atitudes que auxiliem o aluno na construção do conhecimento científico para o aplicar no cotidiano e para interpretar melhor os fenômenos do mundo que nos rodeia. Deste modo, o trabalho experimental permite um aumento de motivação para a aprendizagem e uma aprendizagem conceitualmente mais enriquecedora.

Os professores, aquando da realização do trabalho experimental, têm em mente diversas finalidades, nomeadamente, motivar os alunos, ensinar técnicas de laboratório e desenvolver hábitos e capacidades inerentes a este trabalho (tais como a observação, pesquisa de informação, previsão, espírito crítico, experimentação, entre outros) [122].

A disciplina de Física e Química, na dimensão científica, deve proporcionar a aquisição de conceitos e leis que são fundamentais à compreensão global do universo. Neste sentido recorre-se à simulação, à experimentação, à previsão dos resultados com base numa hipótese, à planificação de uma experiência para testar uma ideia, ajuizar as incertezas numa medição e à reflexão dos resultados experimentais.

O trabalho experimental, como atividade cooperativa de exploração e resolução de problemas, leva a uma interação dinâmica entre o pensar e o agir, desempenhando um papel relevante na criação de contextos que possibilitam a (re)estruturação dos saberes prévios dos alunos, conducente à progressiva compreensão, cada vez mais aprofundada, dos fenômenos científicos. Desta forma é essencial que o trabalho experimental contemple os interesses dos alunos, assim como os seus saberes e as suas estratégias de

aprendizagem, isto é, o contributo de cada aluno, não só na solução final, como na definição, planificação e realização de atividades experimentais [122].

No ensino das ciências é necessário proporcionar situações motivadoras e construtivas, nas quais os alunos possam assumir um papel ativo na conceção e desenvolvimento das atividades. Além disso é importante que se criem oportunidades para debate e confronto de ideias, resultados e processos, quer no pequeno grupo, quer na turma [122] [123].

De acordo com a Lei de Bases do Sistema Educativo é essencial “fomentar a aquisição e aplicação de um saber cada vez mais aprofundado assente no estudo, na reflexão crítica, na observação e na experimentação”; “criar hábitos de trabalho, individual e em grupo, e favorecer o desenvolvimento de atitudes de reflexão metódica, de abertura de espírito, de sensibilidade e de disponibilidade e adaptação à mudança” (Artigo 9.º) [123] e o método experimental é uma das metodologias de ensino que possibilita a renovação do ensino das ciências, devido às suas potencialidades educativas, tanto a nível dos saberes e processos do trabalho científico, como a nível pessoal e social.

## **16. Implementação de estratégias no programa curricular**

Dada a rápida e complexa transformação social com a qual nos deparamos hoje em dia será necessária uma reconceptualização a nível educacional.

A sociedade contemporânea vive cada vez mais próxima dos avanços da ciência e da tecnologia; seja através dos meios de comunicação e divulgação, seja por meio do consumismo a elas associados.

O futuro exigirá, em especial, aos jovens (que interagem diariamente com novos objetos) um bom conhecimento científico e tecnológico, competências tais como a criatividade, capacidade de comunicação, um pensamento crítico capaz de sintetizar o conhecimento de uma forma inovadora, a capacidade de resolução de problemas e a interpretação de gráficos, tabelas, esquemas, entre outros.

No entanto, segundo a autora deste trabalho, os programas curriculares das disciplinas de ciências parecem não acompanhar tais avanços na sua plenitude e distanciam-se do mundo atual. Face esta problemática, impõe-se à escola que se adapte às novas dinâmicas de mudança pois trata-se de um fator essencial para a formação dos seus alunos.

Há realmente necessidade de um processo de inovação curricular, inclusivamente por parte do professor dado que é ele que exerce uma grande influência na aprendizagem e experiência educativa dos alunos. Assim sendo, compete aos professores prepararem os adultos de “amanhã” e dado que a maioria dos alunos não possuem uma visão adequada sobre o ensino de ciências será fundamental que os professores tenham essa perceção e hajam em conformidade.

Esteve a decorrer o concurso Nacional de Ciência “Eureka!” (de 1 de setembro a 7 de outubro de 2015) no qual os estudantes (1.º, 2.º e 3.º ciclos) puderam demonstrar os seus conhecimentos científicos de uma forma criativa e inovadora ao falarem sobre a ciência no quotidiano e a forma como esta pode ser transmitida de geração em geração [89]. Este tipo de iniciativa é de salutar não só pelo estímulo atribuído ao alunos em aderir a este concurso alusivo à ciência como também ajudar o professor na tomada de conhecimento/consciência relativamente à visão dos estudantes sobre ciência e sua aplicabilidade/importância no dia a dia.

Na minha opinião, os docentes precisam sentir esta necessidade de inovar e para que tal aconteça terão de perceber as reais necessidades/interesses dos alunos e dispor de alternativas didático-metodológicas nas suas práticas.

A tecnologia altera constantemente toda a nossa vida e em conformidade com esta mudança é necessário transformar o método de aprender e de ensinar. Todo este processo implica uma constante atualização e exige uma abordagem reflexiva às quais o professor terá de ser recetivo [64].

Inicialmente, aquando da chegada de computadores à escola, estes eram utilizados com a intenção de educar para o uso das tecnologias. Hoje, usamos as tecnologias para educar pois estas novas ferramentas tecnológicas têm potencial para promover qualidade na educação e aproximar a escola dos interesses e expectativas dos alunos.

Deste modo, é necessário que os professores articulem todos esses saberes em contextos motivadores e que diversifiquem as estratégias de ensino recorrendo às mais diversas tecnologias/metodologias de forma a implementar práticas inovadoras principalmente a nível do ensino experimental das ciências.

## 16.1. Atividade Experimental

As experiências laboratoriais, para além de fazerem parte da própria natureza da ciência, são fundamentais para o desenvolvimento cognitivo dos alunos. Neste sentido, devem ser disponibilizadas e mantidas instalações apropriadas, de modo a ajudar a qualificar a operacionalização dos programas educativos.

O projeto “FabLab@School” valoriza a importância de espaços “*makers*” no processo de ensino/aprendizagem e as aprendizagens “*maker*” permitem ao aluno construir mediante experiências os seus projetos [87] [88]. Seria de extrema importância a implementação destas estratégias nas nossas escolas públicas.

Todavia, sabe-se que nem sempre há verba nas escolas para comprar o reagente “*x*” ou o equipamento “*y*” necessário na atividade experimental e aí a tecnologia educativa como, por exemplo, animações, simulações e vídeos de experiências práticas atuam como mediadores e facilitadores em determinadas aprendizagens.

A inserção de um laboratório virtual na escola será também uma mais valia para a educação do século XXI. O projeto “A casa das ciências” foi elaborado com o apoio da Fundação Calouste Gulbenkian e disponibiliza aos professores de Ciências do ensino básico e secundário diversos recursos didáticos com o intuito de os ajudar a usar as tecnologias de informação no processo ensino/aprendizagem [86].

Atualmente, sabe-se que a escola não é o único lugar onde se aprende ciências e que a ciência pode não ser desenvolvida apenas em laboratórios. A verdade é que diversos espaços podem ser utilizados para se conduzir uma atividade experimental. Tais como museus, parques, exposições que chamam à atenção pela interatividade e maneira de estimular os estudantes pelo ensino das ciências.

Verifica-se, efectivamente, um afastamento entre a escola e estes contextos e será o professor um dos intermediários determinantes para uma eficaz articulação e complementaridade, para a existência de um contínuo de ambientes de aprendizagem.

Tendo em linha de conta um dos temas considerados no programa curricular de vários anos de escolaridade da disciplina de Física e Química, o universo, e tendo por base a articulação proposta anteriormente, a autora, considera pertinente e sem dúvida um desafio, a promoção de uma educação não formal a partir de visitas a espaços

educacionais como por exemplo ao CERN. Os alunos ao estabelecerem contato direto com o local ou através de uma visita virtual designada por aula vídeo – conferência aliada à componente experimental, será, sem dúvida, uma mais valia pois estes espaços irão despertar-lhes curiosidade e estimular-lhes o espírito de descoberta.

O CERN, mediante o projeto “Playing with protons in primary” [85] aproveita as potencialidades das crianças, em tenra idade, para introduzir noções básicas de física e ajudá-los, mediante experiências, a compreender a mundo natural, simultaneamente, consegue obter o seu objetivo (cativá-los pelo mundo da ciência).

A invisibilidade/visibilidade da ciência no 1.º ciclo será, no entender da autora, um aspeto de suma importância pois o desenvolvimento de competências como curiosidade, atenção e concentração permitirá estimular a aprendizagem. Neste âmbito importa promover, desde os primeiros anos, a compreensão da utilidade e funcionalidade do conhecimento científico no quotidiano e das implicações da Ciência na nossa sociedade. E porque não aplicar também nas escolas portuguesas este projeto em parceria com o CERN?

A autora considera essencial estabelecer um elo de ligação com o CERN para implementar estratégias mais aliciantes no programa curricular da disciplina de física e química no ensino secundário e propõe que os alunos participem no “S’Cool Lab” do CERN que contempla não só uma visita guiada ao CERN como também dá a possibilidade aos jovens de participarem em *workshops* e experiências onde irão aprender os princípios básicos da física moderna, aceleração e deteção de partículas e suas interações fundamentais [77].

No seguimento dessa ideia e tendo em linha de conta que o aluno deverá compreender os fenómenos naturais, a essência do conhecimento científico e ampliar conhecimentos em algumas áreas da física nomeadamente, ao que se refere ao ensino secundário, será fundamental realçar alguns dos objetivos gerais da disciplina de Física do 12.º ano: “desenvolver a capacidade de observação, experimentação, avaliação, abstração e generalização; desenvolver o espírito crítico, o raciocínio, a capacidade de resolver problemas, desenvolver a imaginação e a criatividade na elaboração de trabalhos relacionados com ciência e desenvolver hábitos de trabalho orientados por métodos científicos” [71].

Na sequência dos objetivos anteriormente referidos e dado que no programa curricular da disciplina de física a prática experimental deverá ter um lugar de destaque, sugere – se a

execução de um projeto anual nas futuras escolas públicas. A atividade a implementar será a construção de uma maquete de um acelerador de partículas cuja base de funcionamento é a ação combinada de campos elétricos e magnéticos [71].

Esta atividade, em termos programáticos, insere-se na unidade II - Eletricidade e Magnetismo. Exige a aprendizagem dos conteúdos abordados nesta unidade e serão necessários pré-requisitos (conteúdos lecionados no 11.º ano sobre circuitos elétricos e campos magnético e elétrico) e ainda um trabalho de pesquisa sobre aceleradores de partículas, seu funcionamento e suas aplicações no quotidiano (não só na investigação mas também na indústria e medicina). Para além da informação sobre o ciclotrão, presente no manual adotado, das indicações metodológicas (apresentadas seguidamente em 16.1.1.) e do docente estar sempre disponível para quaisquer dúvidas, o aluno terá a liberdade para usar diversos materiais e/ou ideias dando conhecimento prévio ao professor (os alunos terão de apresentar o plano de projeto na data proposta pelo docente).

O objetivo geral desta atividade realizada em grupos (de 3 ou 4 alunos) é construir uma pequena maquete que represente a estrutura fundamental do acelerador de partículas construído no CERN e simule o respetivo funcionamento.

Na opinião da autora deste trabalho, este projeto incentiva os estudantes a refletir sobre a natureza do conhecimento e do processo de aprendizagem utilizado na disciplina de física e química. Além disso, o desenvolvimento deste projeto revela-se extremamente eficaz na preparação dos alunos para o ensino superior.

Mediante um processo estímulo-recompensa seria atribuída aos alunos do grupo com o melhor projeto a hipótese de visitar o CERN e participar no projeto “S`Cool Lab” do CERN (Regulamento apresentado em apêndice 1).

A autora propõe ainda a introdução de uma das experiências do CERN na leção do programa curricular de Física de 12.º ano, mais concretamente, no que respeita à unidade III – Física Moderna (tema 3: núcleos atômicos e radioatividade). Os conteúdos abordados nesta unidade têm uma ligação direta com contextos atuais e permitem ao aluno ter uma perceção mais realista do que é a física no início do século XXI. Assim sendo, será dada a oportunidade ao aluno de realizar, na escola, a experiência da câmara de nuvens “cloud chamber” para detetar raios cósmicos (apresentada em 16.1.2.).

O principal objetivo desta atividade é construir, a partir de objetos simples, uma câmara de nuvens (baseada na câmara de Wilson) e com ela analisar os traços característicos de partículas cósmicas.

Esta câmara de nuvens, também designada por câmara de Wilson, em homenagem a Charles Thomson Rees Wilson, é um dispositivo (ou detetor) que mostra os rastros deixados por partículas subatômicas. A câmara usada nesta atividade é mais simples do que a de Wilson, no entanto, possui o mesmo princípio de funcionamento [14].

É de salientar que a construção desta câmara mostra que a partir de materiais simples é possível estudar física das partículas e que não obstante do surgimento de outros tipos de detetores ao longo dos séculos, a câmara de nuvens tem sido usada como ferramenta em inúmeras descobertas nessa área, inclusive em experiências do CERN. Será ainda interessante estabelecer a ligação entre o funcionamento deste detetor e dos usados nos aceleradores de partículas do CERN.

E por que não implementar uma aula vídeo-conferência em parceria com o CERN?

A autora sugere ainda, no âmbito desta atividade uma visita virtual às instalações e salas de controle através de uma aula vídeo-conferência com o CERN onde os alunos poderão ainda tirar dúvidas sobre esta experiência e/ou colocar questões pertinentes subjacentes a esta temática.

Segundo a autora da tese, esta atividade tem potencial para captar a atenção dos alunos inclusive a dos mais desinteressados por esta área dado que a maioria deles não acredita ser possível a visualização de partículas subatômicas.

Face à realidade atual, a experimentação, simulação e tecnologia terão de ser aliadas para promover a interatividade entre a ciência e a escola e despertar a curiosidade dos estudantes para os fenômenos físicos e para a ciência que os estuda. Quer-se, assim, que os estudantes concluam que a física está presente no seu cotidiano. Pretende-se, também, que a física seja tida como referência na vida dos estudantes, de forma a aumentar o seu interesse pela aprendizagem desta disciplina.

### 16.1.1. Projeto Anual Proposto - Construção de um acelerador de partículas (maquete)

## Física

### Proposta Didática

#### Projeto Anual: Construção de um acelerador de partículas (maquete)



Fonte: [https://www.google.pt/search?q=CERN&es\\_sm=122&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAcQ\\_AUoAWoVChMI3aryt4qYyAIVw7waCh2yNABY&biw=1024&bih=677#imgre=PS0\\_HHEqZvkU4M%3a](https://www.google.pt/search?q=CERN&es_sm=122&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAcQ_AUoAWoVChMI3aryt4qYyAIVw7waCh2yNABY&biw=1024&bih=677#imgre=PS0_HHEqZvkU4M%3a)

#### Introdução:

O CERN, “European Laboratory for particle physics” (Laboratório Europeu de Física das Partículas) é o maior centro mundial de investigação. Desde a sua fundação, em 1954, tem sido um exemplo bem sucedido de colaboração internacional.

No CERN, os cientistas usam o instrumento mais complexo do mundo, o acelerador de partículas, LHC, “Large Hadron Collider” para estudarem os constituintes básicos da matéria e da antimatéria assim como as forças que atuam entre as partículas elementares.

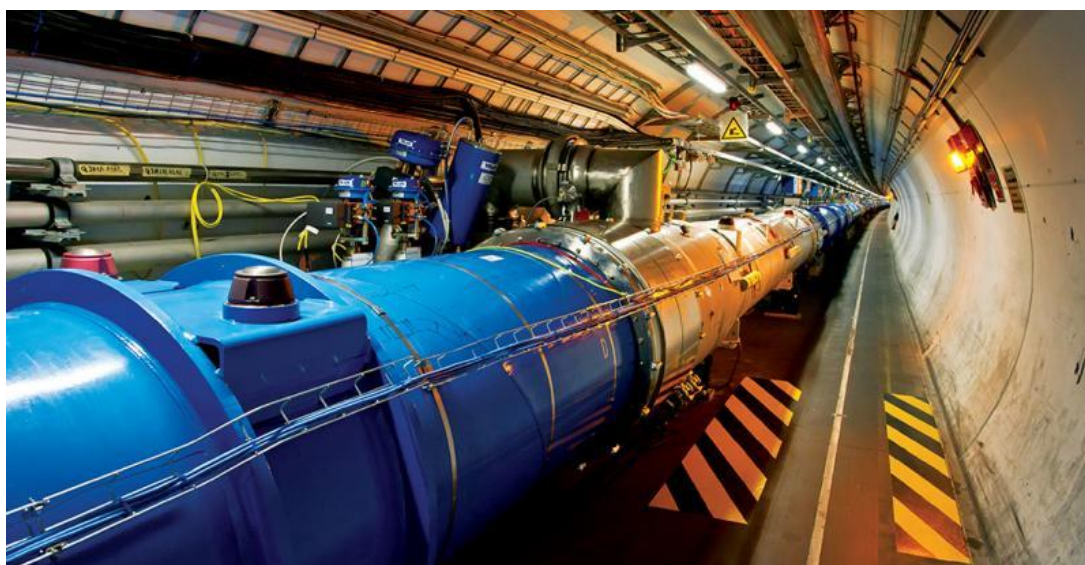
É de salientar que a área da Física de Partículas foi pioneira em Portugal ao introduzir instrumentos de ação e desenvolvimento que tiveram boas práticas internacionais como referência. O CERN também teve um papel central como atrator e local de partilha de ideias.

#### VIDEO SOBRE O CERN



Fonte: <http://home.web.cern.ch/about>

## Grande acelerador de partículas (LHC)



LHC, o maior e o mais poderoso acelerador de partículas. (imagem: CERN)

Fonte: <http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider>

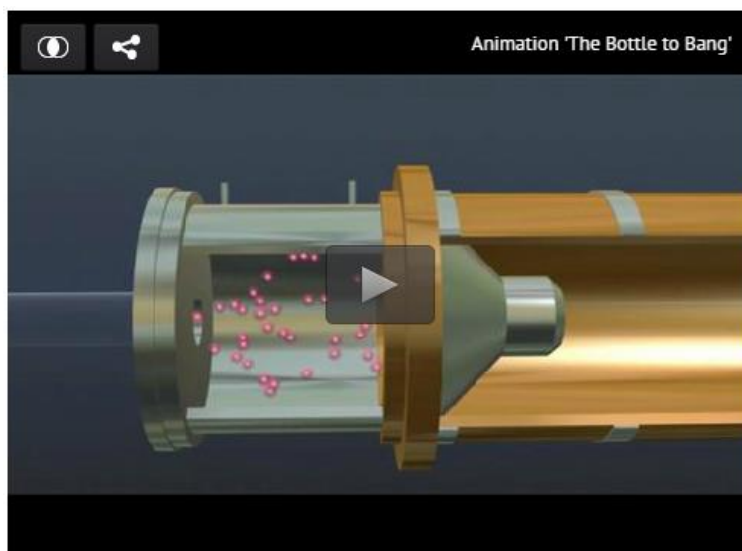
Este grande acelerador de partículas é designado por LHC pois “Large” é devido ao seu tamanho (aproximadamente 27 km de circunferência), “Hadron” porque acelera prótons ou íons, os quais são hádrons, e “Collider” porque as partículas formam dois feixes que viajam em direções opostas e colidem em quatro pontos onde os dois anéis da máquina interseam.

O conhecimento cada vez mais profundo que os cientistas vão adquirindo acerca do mundo subatômico e sobre as interações fundamentais deve-se maioritariamente às experiências com aceleradores de partículas. Neles, partículas carregadas com energia muito elevada colidem com núcleos atômicos ou umas com outras, fragmentando-se, e a partir da análise desses fragmentos muito se consegue compreender sobre a estrutura fundamental do universo. Para orientar e acelerar as partículas ao longo das trajetórias, são fundamentais os campos elétricos e magnéticos (os quais já tiveste oportunidade de estudar na disciplina de física e química).

O LHC é o mais recente projeto do maior laboratório de física das partículas do mundo e ajudará a investigar o estudo da matéria no universo primitivo, aquando do Big Bang.

O LHC, usado essencialmente para acelerar prótons até velocidades próximas da velocidade da luz, está agora a retomar a operação a uma energia dos feixes de  $13 \text{ TeV}$  e os físicos de partículas preparam-se para procurar respostas para algumas das muitas questões em aberto nesta área.

## VIDEO SOBRE O ACELERADOR DE PARTÍCULAS



Fonte: <http://home.web.cern.ch/about/accelerators>

### Proposta Didática:

**Primeira Etapa-** Pesquisa sobre o CERN, o acelerador de partículas (LHC) e seu funcionamento.

Após leituras e visualização dos vídeos propostos sobre esta temática deverás aprofundar os teus conhecimentos fazendo uma pesquisa mais minuciosa. Eis alguns links úteis:

<http://home.web.cern.ch/about>

<http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider>

<http://home.web.cern.ch/about/accelerators>

[http://www.superinteressante.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2374%3Aparticulas-aceleradas&catid=15%3Aartigos&Itemid=92](http://www.superinteressante.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=2374%3Aparticulas-aceleradas&catid=15%3Aartigos&Itemid=92)

<http://www.lip.pt/files/exposicao-30anos-adesao-cern/Folheto.pdf>

<http://www.cienciahoje.pt/29>

[http://www.rtp.pt/noticias/mundo/acelerador-de-particulas-do-cern-inicia-nova-fase-de-experiencias\\_n833873](http://www.rtp.pt/noticias/mundo/acelerador-de-particulas-do-cern-inicia-nova-fase-de-experiencias_n833873)

<http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/from-the-big-bang-to-lhc/Globe-movie-s.mp4>

[http://indico.cern.ch/event/16623/contribution/23/attachments/201711/283187/Accelerator\\_course\\_english\\_July\\_2007.pdf](http://indico.cern.ch/event/16623/contribution/23/attachments/201711/283187/Accelerator_course_english_July_2007.pdf)

<http://www.stfc.ac.uk/research/particle-physics-and-particle-astronomy/particle-physics/lhc-large-hadron-collider-resource-portal/>

Para além dos *links* e sugestões dadas, a docente recomenda o uso dos manuais escolares adotados e coloca ao dispor dos seus alunos o capítulo 14 do seu mestrado referente ao CERN (origem, história e experiências relevantes).

## Segunda Etapa – Uso de simulações e jogos

Após a realização da primeira etapa, deverás recorrer a jogos e a simuladores para que que fiques com uma perceção mais real e abrangente sobre esta matéria. E quiçá terás alguma ideia “luminosa” para a etapa seguinte!

O(a) professor(a) irá orientar-te na exploração de todas as possibilidades abaixo apresentadas:

<http://test4theory.cern.ch/vas/>

<http://ippog.web.cern.ch/resources/2011/particle-detectives-lhc-project-simulator>

<https://cern50.web.cern.ch/cern50/multimedia/LHCGame/StartGame.html>

<http://www.cernland.net/>



Em casa poderás recorrer a estes *links*:

<http://www.mobilecollective.co.uk/?p=1101>

<http://www.sprace.org.br/sprace-game/sprace-game-v2-pt>

Existem imensas aplicações mediante as quais podes navegar !!!

### **Terceira Etapa – Construção de um acelerador de partículas (maquete)**

O grande sonho dos cientistas é poder conhecer a estrutura da matéria. Descobertos os constituintes atômicos e nucleares, não se ficou por aí! Descobriu-se também que imensas partículas podem ser produzidas se for fornecida energia, em quantidade suficiente, aos núcleos. Os núcleos podem emitir espontaneamente outras partículas, é possível forçar os núcleos estáveis a fazer o mesmo ou até cindirem-se, fazendo-os colidir com partículas de energias elevadíssimas. Para alcançar estes grandes valores energéticos, as partículas são obrigadas a percorrer vezes sucessivas grandes trajetórias fechadas, aumentando continuamente as suas velocidades.

É importante realçar que isto se consegue em grandes máquinas, os aceleradores de partículas, em que a atuação de campos elétricos e magnéticos é imprescindível. Estes últimos, criados por magnetes fortíssimos, são necessários para manter as partículas nas trajetórias desejadas. Numa primeira fase são usados campos eletrostáticos. Depois, as partículas ficam sujeitas a aceleradores lineares e só posteriormente entram em aceleradores circulares sobre a ação de campos elétricos e magnéticos. É essencial que as partículas circulem em tubos onde foi feito o vácuo para garantir que não haja colisões com outras, o que perturbaria as suas trajetórias e velocidades.

#### **Após uma breve introdução à temática chegou a hora de dares o teu contributo!**

O objetivo geral do projeto é construir uma pequena maquete que represente a estrutura fundamental do acelerador de partículas construído no CERN e simule o respetivo funcionamento. Pretende-se grupos de 3 ou 4 alunos (no máximo).

Poderão ser usados os mais diversos materiais\*, desde bobinas, fontes de alimentação, resistências, condensadores, entre outros, usa a tua imaginação e os conhecimentos adquiridos na disciplina de física e química e apresenta o teu plano de projeto na data proposta!

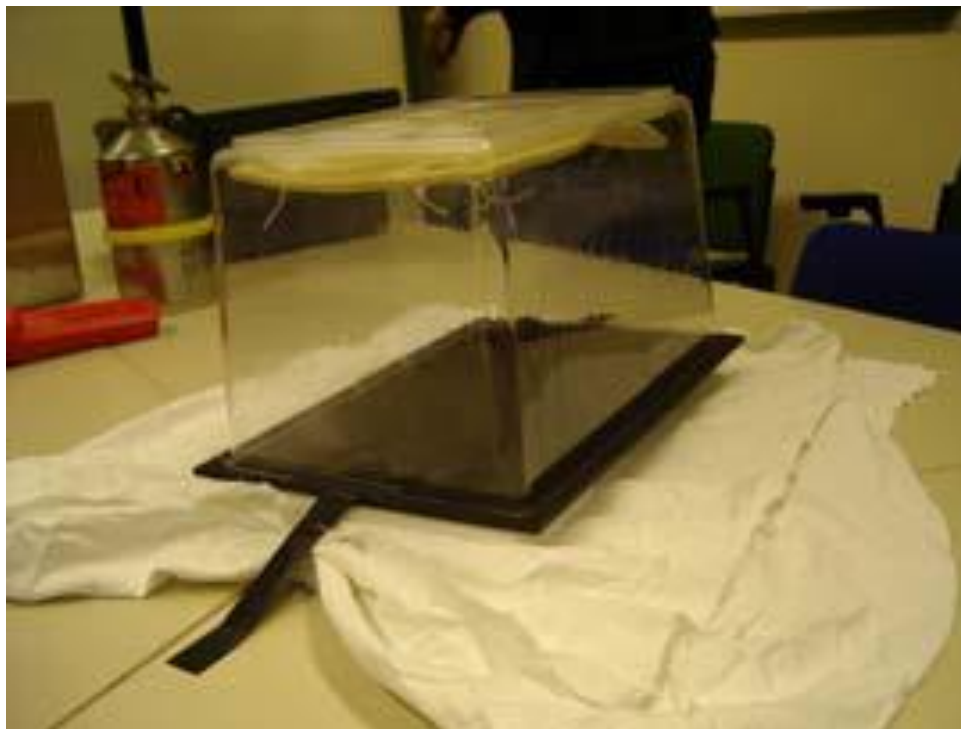
\*Terás a liberdade para usar no teu projeto diversos materiais e/ou ideias dando conhecimento prévio ao professor(a) da disciplina que estará sempre disponível para quaisquer dúvidas que possam surgir.

#### **Experimenta a satisfação da descoberta e do desenvolvimento intelectual!**

Como recompensa seria atribuída aos alunos do grupo com o melhor projeto a hipótese de visitar o **CERN** e participar no **projeto “S`Cool Lab” do CERN** (apêndice 1).

## 16.1.2. Atividade Experimental - Construção de uma câmara de nuvens

### CONSTRUÇÃO DE UMA CÂMARA DE NUVENS (CLOUD CHAMBER)



Fonte: <https://teachers.web.cern.ch/teachers/document/cloud-final.pdf> [16]

**A partir de objetos simples, usados no cotidiano, pode-se contruir uma câmara de nuvens baseada na câmara de Wilson.**

### **O aluno deverá ser capaz de:**

- ✚ Reconhecer a existência de núcleos instáveis.
- ✚ Associar a instabilidade de certos núcleos, que se transformam espontaneamente noutros, a decaimentos radioativos.
- ✚ Identificar os raios cósmicos como fonte natural de radiação ionizante.
- ✚ Indicar a câmara de nuvens como detetor de radiação ionizante (e comparar seu funcionamento com os detetores usados nos aceleradores de partículas).
- ✚ Observar e interpretar os traços característicos de partículas cósmicas.
- ✚ Reconhecer a importância da radioatividade na ciência, na tecnologia e na sociedade.

## CONTEXTO TEÓRICO

Há mais de 100 anos que sabemos que o planeta Terra é constantemente bombardeado por partículas que nos chegam do cosmos.

Os raios cósmicos são uma dessas partículas invisíveis (principalmente prótons, electrões e núcleos de hélio) de elevada energia.

Ao aproximarem-se da Terra, a uma velocidade próxima da luz, a maior parte destes raios são bloqueados pela atmosfera protetora da terra e pelo campo magnético. O campo magnético terrestre tem aqui um importante papel na proteção contra estas chuvas de partículas cósmicas, defletindo a sua trajetória.

Todavia, nem todos os raios são impedidos de chegar à superfície da Terra.

A probabilidade de uma partícula cósmica interagir com uma partícula da atmosfera depende da densidade da atmosfera e esta varia muito com a altitude. Faz sentido pensar que, quando mais elevada for a altitude a que se está, maior é a exposição a este tipo de radiação.

Os raios cósmicos que atingem o topo da atmosfera terrestre (provêm do sol e do espaço interestelar) vão interagir com as moléculas da atmosfera, produzindo chuveis (ou cascatas) com milhões de partículas.

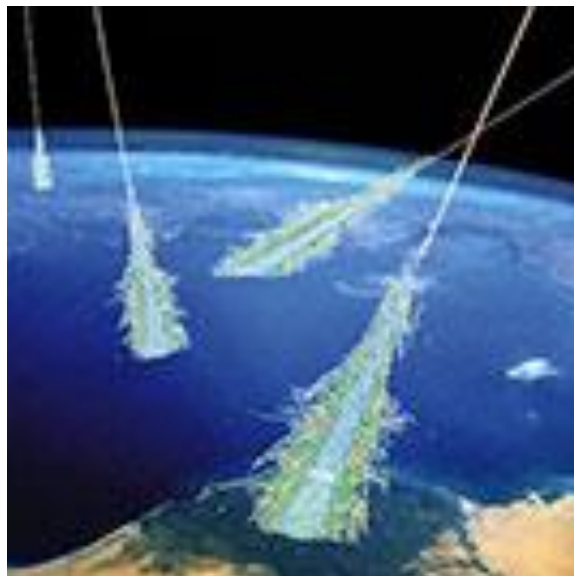


Figura 1P- Esquema da entrada de raios cósmicos na atmosfera terrestre, originando chuveis de partículas [3].

É importante recordar que a instabilidade dos núcleos conduz ao decaimento radioativo ou aparecimento da radioatividade. A radioatividade consiste na transformação ou desintegração de núcleos instáveis com formação de núcleos mais estáveis, pela emissão espontânea de partículas ou de radiação eletromagnética ou de ambas. Os principais tipos de radiação são partículas  $\alpha$  (ou núcleos de hélio duplamente carregados), partículas  $\beta$  (ou elétrons), raios  $\gamma$ , emissão de positrão e captura eletrónica. Quando um núcleo radioativo se desintegra, os produtos formados também podem ser instáveis e, portanto, podem desintegrar-se posteriormente. Este processo repete-se até finalmente se formar um produto estável.

Salienta-se o facto de que somente uma parte dos chuveiros anteriormente referidos será possível medir nos detetores de raios cósmicos à superfície da terra.

A câmara de nuvens, também designada por câmara de Wilson (visualizar a Figura 2P), apesar de simples, foi na história da física de partículas o primeiro método para detetar raios cósmicos e outras partículas carregadas, ou seja, o primeiro detetor capaz de mostrar traços produzidos por partículas subatómicas.

“Na sua forma mais básica, uma câmara de nuvens é um sistema fechado, contendo um vapor supersaturado de água ou álcool. Quando uma partícula carregada, por exemplo, uma partícula alfa, interage com uma mistura, o fluido é ionizado e os iões resultantes formam núcleos de condensação, originando uma espécie de neblina. As partículas mais energéticas formam pequenos rastros à medida que estas atravessam a câmara. Estes rastros têm formas muito distintas. Por exemplo, o rasto de uma partícula alfa é amplo e apresenta maior deflexão por colisões, enquanto um elétron forma um rasto mais fino e direito” [2].

Todo o tipo de partículas tem um traço característico que varia em comprimento, largura e forma. As câmaras de nuvens tornam os traços das partículas visíveis. Assim sendo, estudando o traço ou a fotografia desse mesmo traço podemos determinar a energia e a carga elétrica da partícula originária (primária).

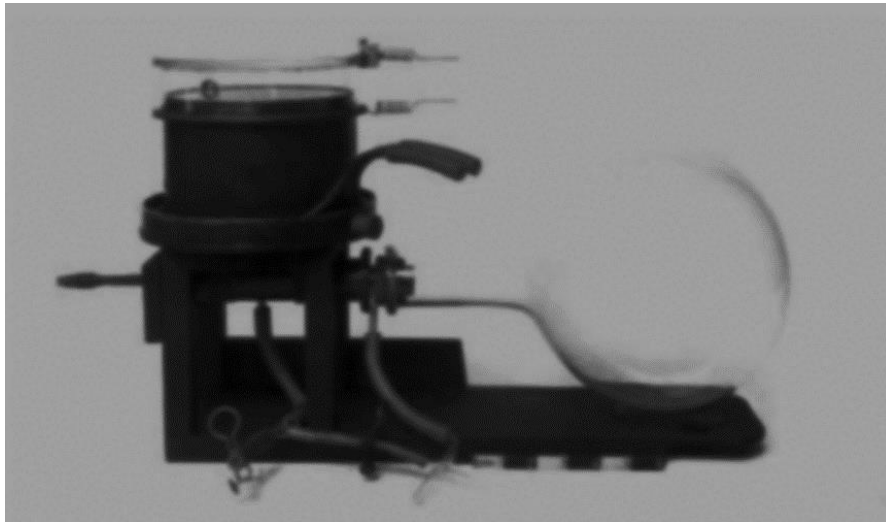


Figura 2P - A primeira câmara de nuvens feita por Charles Thomson Rees Wilson [1].

Esta câmara de nuvens apesar do surgimento de outros tipos de detetores ao longo dos séculos, com melhor resolução, tem sido objeto de pesquisa tanto na área de partículas elementares como no estudo de interação de partículas carregadas com a matéria e em física nuclear.

Imensas experiências do CERN usaram câmaras de nuvens para detetar partículas. A experiência “Cosmics Leaving Outdoor Droplets” (CLOUD) do CERN hoje em dia também a usa para investigar os efeitos dos raios cósmicos na formação das nuvens. (Figura 3 P)



Figura 3P - Imagem da experiência “Cosmics Leaving Outdoor Droplets” (CLOUD) [9].

As câmaras de nuvens do CERN demoraram vários anos a planear e a construir mas tu poderás construir o teu próprio detetor de raios cósmicos. Não será fantástico?

## **A EXPERIÊNCIA**

### **Antes do Laboratório**

#### **O material:**

- Uma caixa de plástico transparente, com faces planas e uma parte superior aberta, de cerca de 20 x 30cm (lado aberto) x 15cm (altura);
- Uma placa de metal (pelo menos 5 mm de espessura) para cobrir completamente o tamanho do lado aberto da caixa (a placa deve ser um pouco maior do que a caixa, deve ser, de preferência preta e deve ter ranhuras correspondentes às paredes laterais da caixa de plástico). Como este material é provavelmente, difícil de encontrar, podes usar uma placa de metal plana e fita isolante preta para que a superfície da placa de metal fique também preta;
- Um feltro com alguns milímetros de espessura (um pouco menor do que o fundo da caixa);
- 4 braçadeiras (para juntar o feltro ao interior da parte inferior da caixa);
- Uma pequena caixa de madeira (ligeiramente maior em área do que a placa de metal e que tenha aproximadamente 5 cm de altura (a caixa tem que conter as placas de gelo e a placa de metal, mas os lados não devem ser muito superiores, de modo que não vá cobrir a caixa de plástico);
- Uma fonte de luz muito intensa, por exemplo, um projetor de slides ou uma lanterna com elevada potência;
- Álcool isopropílico puro (a experiência só irá ter sucesso com álcool puro);
- Gelo Seco (cuidado com as tuas mãos: não te esqueças de recorrer a um espaço ventilado para realizares a experiência, usar luvas adequadas, nunca toques no gelo diretamente pois ele está a  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ! Tocá-lo diretamente irá provocar uma queimadura);
- Óculos de segurança (aquando da utilização do gelo);
- Luvas de plástico adequadas (para manuseares o gelo seco e também aquando da utilização do álcool).

Importante: O professor irá dar-te as indicações sobre o gelo seco e o álcool isopropílico os quais podem ser perigos.

## No Laboratório

### Esquema de montagem:

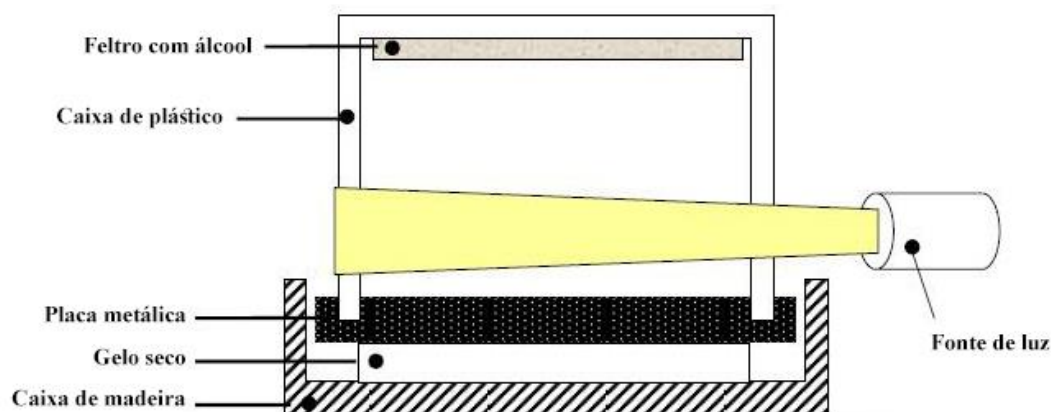


Figura 4P - Esquema de montagem proposto [16].

### Como proceder:

1. Se não conseguir obter uma placa de metal preta, terá que envolver completamente um lado da placa de metal com a fita isolante preta. Isto tornará muito mais fácil para que se visualizem os "traços de partículas brancas". Mais tarde, na frente de um fundo preto, o fundo estará em contato com o álcool quando a câmara estiver em funcionamento, por isso não use fita adesiva ou cola solúvel em álcool para prendê-lo. (Se tiveres já uma placa de metal preto pode iniciar a atividade com o ponto 2 do procedimento).
2. Prenda com braçadeiras a parte inferior da caixa e fixe também o feltro com as braçadeiras no fundo da caixa. Mais tarde estes feltros serão embebidos com álcool. Além disso, pode perfurar orifícios muito pequenos na parte inferior da caixa, logo acima do feltro. Assim será capaz de adicionar mais álcool para manter a câmara em funcionamento por um período de tempo mais longo.
3. Seguidamente, adicione o álcool ao feltro (acrescente muito álcool de maneira que o feltro fique completamente encharcado). Este álcool mais tarde irá formar a névoa para que visualize os traços característicos de partículas.
4. Coloque álcool nas ranhuras da sua placa de metal. **Justifique este procedimento.**

5. Agora pode fechar a câmara: coloque a placa de metal com a superfície preta apontando para o interior da caixa e vire-a. A sua câmara deve ter a caixa de plástico invertida e a placa de metal na parte inferior.
6. Monte a caixa de modo que as paredes desta encaixem nas ranhuras da placa de metal.
7. Certifique-se que há um pouco de álcool nas ranhuras. (Caso não use nenhuma placa de metal com ranhuras deve colocar fita isolante preta à volta da ligação da caixa com a placa).
8. Posteriormente, verifique se a caixa ficou totalmente isolada.
9. Coloque o gelo seco na caixa de madeira (Não se esqueça de usar luvas adequadas e óculos de segurança durante o manuseamento do gelo. **Explique porquê**).
10. Finalmente, coloque a caixa com a placa de metal na parte inferior no gelo (visualize o esquema de montagem apresentado).

**Agora a sua câmara está pronta para detetar os traços característicos das partículas !!!**

11. A câmara vai demorar alguns minutos até chegar a um estado de equilíbrio. Desligue as luzes da sala, ligue a fonte de luz (lanterna ou projetor de slides) e direcione-a para a parte inferior da câmara. Inicialmente irá visualizar uma névoa causada pelo álcool. **Justifique este facto.**
12. Visualize os traços das partículas perto da parte inferior da câmara. **Justifique este facto.**
13. Certifique-se de que a câmara permanece fechada e que não há quaisquer perdas de ar. **Justifique.**
14. Após cerca de 10 minutos, deverá começar a ver os traços das partículas que atravessam a caixa. (Deverás visualizar um par de traços por minuto).
15. Se necessário, pode adicionar mais álcool através dos orifícios na parte superior da caixa, sem reabertura da mesma). **Justifique esta adição de álcool.**
16. Observe e fotografe o máximo de traços caraterísticos das partículas cósmicas obtidas.

## **SOLUÇÃO DE PROBLEMAS**

Como em qualquer experiência, poderás ter algumas dificuldades. Aqui estão algumas das situações mais comuns e suas soluções:

- **"Eu não vejo quaisquer faixas (ou traços)!"**

**Solução:** Certifique-se a luz está bem direcionada.  
Verifique se o gelo seco está bem embalado e em bom contato com a placa de metal.  
Tente adicionar um pouco de álcool e verifique se a câmara é hermética.

- **"Eu só vejo névoa."**

**Solução:** Aguarde cerca de 10-15 minutos para a câmara chegar à temperatura certa.  
Certifique-se de que usou o álcool certo pois se não for o caso, os raios cósmicos não serão capazes de iniciar o processo de condensação.

- **"Eu vejo grandes nuvens nas arestas da câmara."**

**Solução:** Isso provavelmente significa que existem perdas de ar.

Certifique-se de que a câmara está hermeticamente fechada.

(Protocolo adaptado)

**Fontes:** <https://teachers.web.cern.ch/teachers/document/cloud-final.pdf> [16]

<http://home.web.cern.ch/students-educators/updates/2015/01/how-make-your-own-cloud-chamber> [10]

## Bibliografia consultada:

- [1]- Griffiths, David (1987). *Introduction to elementary particles*. United States: Copyright.
- [2] <http://www.fciencias.com/2014/09/18/detectando-particulas-subatomicas-laboratorio-online/>
- [3] [www.auger.org](http://www.auger.org)
- [4] <http://www.lip.pt/>
- [5] <http://www.lip.pt/~auger/DadosPublicos.php>
- [6] [http://users.phys.psu.edu/~coutu/Auger\\_Google\\_Earth.htm](http://users.phys.psu.edu/~coutu/Auger_Google_Earth.htm)
- [7] <http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/cosmic.html>
- [8] <http://www.cloudchambers.com/>
- [9] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/cloud>
- [10] <http://home.web.cern.ch/students-educators/updates/2015/01/how-make-your-own-cloud-chamber>
- [11] <http://home.web.cern.ch/about/updates/2014/05/cern-experiment-sheds-new-light-cloud-formation>
- [12] <http://home.web.cern.ch/about/physics/cosmic-rays-particles-outer-space>
- [13] <http://www.lip.pt/>
- [14] <http://www.cpepphysics.org/>
- [15] <http://www.particleadventure.org/>
- [16] <https://teachers.web.cern.ch/teachers/document/cloud-final.pdf>

## Após o Laboratório

Dê resposta às seguintes questões:

1. Qual a principal função do álcool (puro) e do gelo seco usados na experiência?
2. Tendo em linha de conta os procedimentos efetuados na experiência, justifique os que lhe foram pedidos.
3. Explícite, resumidamente, o funcionamento do detetor utilizado (câmara de nuvens) e compare-o com o(s) detetor(es) do CERN.
4. Após visualização e análise dos traços obtidos, indique justificando, a que partícula(s) cósmica(s) se refere(m) (compare os resultados experimentais com os previstos teoricamente e interprete eventuais discrepâncias).
5. Investigue os principais efeitos das radiações ionizantes sobre os seres vivos, suas aplicações, vantagens e desvantagens e apresente-os numa resposta cuidada.

**Bom trabalho!**

## 16.2. Jogo TeenSpaceAdventure

A ciência deve ser apresentada como um conhecimento em constante mutação, dando-se particular importância ao modo de produção destes saberes, intensificando a ideia de um conhecimento científico em mudança e explorando, ao nível das aulas, a natureza da ciência e da investigação científica. Assim sendo, a aprendizagem das ciências deve ser entendida como um processo dinâmico em que o aluno desempenha o papel primordial na criação do seu próprio conhecimento daí que tenhamos que ir ao encontro das necessidades e interesses atuais dos alunos.

As gerações mais jovens, conhecidas como “nativos digitais”, estão envolvidas com o ciberespaço em função do seu potencial comunicativo, formativo e/ou informativo [64].

Na sociedade contemporânea as TIC desempenham um papel fundamental no ensino das ciências. Deste modo, a criação de ferramentas interativas e simultaneamente de aprendizagem será uma solução segundo a autora.

Tendo em consideração que o programa curricular deverá recorrer a aplicações da física moderna (como é o caso dos computadores que proporcionam níveis de bem estar que justificam também a sua inclusão no programa), contemplar “cenários” incompletos, tratar de teorias recentes ou em desenvolvimento ou mesmo questões ainda em aberto a autora criou um jogo educativo e interativo chamado “TeenSpaceAdventure” através do software scratch (<https://scratch.mit.edu/projects/68783398/>) para ser utilizado como uma das estratégias a implementar no programa curricular proporcionando uma aprendizagem que se adequa ao “universo” dos alunos do século XXI.

Este jogo poderá ser introduzido quer no ensino básico quer secundário aquando da leção da temática alusiva à descoberta do Universo. Foram utilizadas imagens do motor de busca do Google (com licença gratuita) e os conteúdos abordados foram explorados na parte II deste relatório. Criou-se ainda uma plataforma virtual (<https://www.facebook.com/groups/1513563712299534/>) onde o jogo ficará disponível para todos os utilizadores, dando liberdade aos alunos e professores de o explorarem e até mesmo a possibilidade de lhe dar continuidade (obviamente só será validada mediante aprovação dos administradores do grupo). Espera-se que este jogo fomente a curiosidade e contribua para o aumento de empenho e motivação dos alunos no processo de ensino-aprendizagem das ciências físico-químicas e quiçá alguma das ideias dos nossos alunos possa ser uma mais valia no mundo das ciências.

## Parte IV - Considerações Finais

A realização deste relatório permitiu à autora uma reflexão sobre o seu percurso profissional, assim como uma atualização de conhecimentos, mediante todas as pesquisas e leituras efetuadas.

A autora escolheu como tema para o seu trabalho: “A descoberta do universo - uma contribuição para o ensino de Física e Química”, pois é uma temática atual, apelativa, em constante mutação, sendo muito abordada nas aulas, ainda que os programas curriculares não estejam totalmente adaptados à realidade do século XXI.

É importante referir que no século XX, as grandes descobertas que contribuíram para uma melhor compreensão do universo e para o surgimento da teoria do Big Bang (teoria que melhor explica as propriedades observadas no universo e as leis da física que conhecemos) ocorreram depois de desenvolvimentos existentes nas concepções que os físicos têm do mundo do muito pequeno.

A espectroscopia e o conhecimento dos átomos, desenvolvidos no fim do século XIX e no começo do século XX, levaram ao aparecimento da física quântica, surgida na década de 1920, mediante a descoberta da escala de distâncias do universo (a qual, por sua vez, dependeu do conhecimento dos átomos) e do desvio para o vermelho. A física nuclear desenvolveu-se nas décadas de 30 e 40, do século passado, conduzindo a uma versão um tanto precoce do Big Bang, criada por Gamow, ao trabalho de Hoyle e dos seus colegas sobre nucleossíntese e ao triunfo do modelo padrão, nos anos 60. Entretanto, os físicos passaram a analisar a natureza da física a altas energias, que correspondia às interações que envolvem as partículas no interior dos próprios núcleões.

À partida era impensável prever que o estudo dos constituintes elementares da matéria nos ajudasse a compreender o que se passa à escala de distâncias galácticas e intergalácticas. Por um lado, procuram-se os segredos da matéria no limite do infinitamente pequeno, por outro, interessamo-nos pela origem, composição e estrutura do universo, na sua globalidade. Aparentemente, duas fronteiras do conhecimento situadas em extremos opostos, mesmo assim, assistiu-se a partir dos anos 60 ao estabelecimento de “ligações” bastante precisas entre as observações astronómicas e as leis que governam as partículas fundamentais. Os resultados extraordinários da cosmologia moderna devem-se maioritariamente a esta associação (entre o infinitamente

pequeno e o infinitamente grande) que proporcionou uma nova concepção da matéria e o início de uma teoria de campo unificada.

O objetivo final da ciência é fornecer uma única teoria que descreva todo o universo. Os cientistas de hoje descrevem o universo em termos de duas teorias parciais fundamentais e já anteriormente referidas: a teoria da relatividade geral e a mecânica quântica.

A teoria da relatividade geral descreve a força da gravidade e a estrutura do universo em macroescala, ou seja, as dimensões do universo observável. A mecânica quântica, por seu lado, trabalha com fenômenos que ocorrem em escalas extremamente reduzidas. Como tal, as duas teorias são incompatíveis e não podem estar ambas certas, daí que se procure uma que explique tudo. A unificação tem sido uma ideia permanente dos físicos. O estabelecimento de uma ligação entre forças de tipos diferentes poderá vir a proporcionar um novo e mais profundo conhecimento sobre essas interações e oferecer aos físicos um vasto domínio de exploração. Assim sendo, um processo de unificação permite compreender um domínio de fenômenos mais amplo do que seria possível através de um número mais pequeno de teorias e/ou princípios básicos.

Apesar da grande relevância da nossa procura de uma teoria final, este é um assunto que não podemos ainda resolver. Esta investigação continua, com o intuito de encontrar a solução que permitirá explorar novos caminhos na compreensão cada vez mais abrangente da estrutura do universo.

Constata-se que o conhecimento cada vez mais profundo que os cientistas vão adquirindo acerca do mundo subatômico e sobre as interações fundamentais deve-se, em grande parte, às experiências com aceleradores de partículas. Neles, partículas carregadas com energia muito elevada colidem com núcleos atômicos ou umas com as outras, fragmentando-se, e a partir da análise desses fragmentos muito se consegue perceber da estrutura fundamental do universo.

O LHC, o mais recente projeto do CERN (o maior laboratório de física das partículas do mundo) recria, em laboratório, os primeiros instantes do universo, contribuindo para a investigação sobre o universo primitivo, aquando do Big Bang.

O bóson de Higgs, descoberto no CERN, dá estrutura e forma para tudo o que conhecemos, sendo a peça final de um puzzle que mostra como a matéria comum que constitui o nosso quotidiano funciona a um nível profundo. É a peça final do modelo-

padrão, mas este modelo não será certamente o fim do “túnel”, pois a existência da matéria escura é apenas uma indicação de que há muito mais física por compreender (o modelo padrão não contempla a existência de matéria invisível).

A atual compreensão do universo está ainda incompleta. O modelo padrão das partículas e forças resume o nosso conhecimento sobre as partículas físicas. Este modelo tem sido testado em várias experiências e tem obtido imenso sucesso em antecipar a existência de partículas desconhecidas. Todavia, deixa muitas questões em aberto às quais o LHC ajudará a responder.

Sabe-se que para orientar e acelerar as partículas, ao longo das trajetórias, são fundamentais os campos elétricos e magnéticos. O programa curricular do 11.º ano de escolaridade de Física e Química e do 12.º ano de Física abrange o estudo dos campos anteriormente referidos, inclusivamente no 12.º ano é estudado um acelerador de partículas, o ciclotrão.

É importante realçar que o CERN estuda estas matérias e que mediante as suas experiências e descobertas, a nossa visão e compreensão do cosmos tem evoluído exponencialmente. Assim sendo, a autora desta tese considera imprescindível que os alunos, das nossas escolas futuras, possam estabelecer contato direto com esta realidade através de visitas ao local ou através de aulas videoconferência aliadas à componente científica, mais concretamente, à atividade experimental para estimulá-los na busca do mundo desconhecido.

A atividade experimental graças às suas potencialidades educativas possibilita a renovação do ensino das ciências, tendo em linha de conta aquilo que o aluno gosta, aquilo que o aluno sabe e faz [120]. Daí que o recurso à mesma deva ser uma prática mais que comum nas aulas de Física e Química, pelo que a autora recorre a uma das experiências do CERN, “ Câmara de nuvens para detetar raios cósmicos (partículas cósmicas) ”, como estratégia a implementar no programa curricular do ensino secundário.

Não obstante os conteúdos abordados nas escolas e as constantes alterações em prol de uma educação/formação científica consistentes e exigentes, a autora lamenta o facto de a Física Moderna ser um tema pouco valorizado nos nossos programas curriculares e por esse motivo apela à inserção desta temática mediante métodos inovadores tornando-a numa “física criativa”.

A investigação da estrutura microscópica da matéria e das suas propriedades, a compreensão das leis quânticas que governam átomos e núcleos, em suma, a investigação fundamental do muito pequeno, realizada na primeira metade deste século, esteve na base da autêntica explosão tecnológica, da segunda metade do século. O património quântico, rapidamente compreendido pela sociedade, foi herdado por uma série de disciplinas aplicadas, às quais não faltou imaginação para desenvolver técnicas, aparelhos ou serviços que hoje consideramos indispensáveis ao bem-estar do homem.

Poder-se-á dizer que a física das partículas é uma manifestação evidente da curiosidade humana para tentar compreender o mundo que nos rodeia e, portanto, há que recorrer às novas tecnologias como ferramentas interativas e de aprendizagem, aproveitando as descobertas atuais.

Tendo em consideração que os programas curriculares deverão recorrer cada vez mais a aplicações da Física Moderna, contemplando teorias recentes ou em desenvolvimento, ou mesmo questões ainda por desvendar, a autora deste trabalho criou um jogo educativo e interativo denominado “TeenSpaceAdventure”, através do *software* Scratch, para ser utilizado como uma das estratégias a implementar no programa curricular. Trata-se de um jogo introdutório que poderá funcionar como uma “alavanca” que irá desafiar algumas das grandes mentes dos novos jovens, pois dá-lhes a liberdade para explorar, a oportunidade para participarem ativamente e desenvolverem o seu próprio jogo ou, até mesmo na plataforma, expor dúvidas, apresentar as suas próprias ideias e quiçá, estas serem desenvolvidas pelos cientistas!

A estimulação do entusiasmo e do interesse pela ciência, por forma a promover a confiança e a competência, com vista ao envolvimento em matérias científicas e técnicas são atributos que devem fazer parte integrante de qualquer programa curricular de ciências. Compete à escola sensibilizar, capacitar e motivar os seus alunos para o “mundo” das ciências.

Segundo a autora, a criação e a investigação científicas, bem como a inovação tecnológica serão a “chave de ouro” para estimular a motivação dos jovens pelo mundo da ciência. A educação para a ciência, integrada numa perspetiva atual Ciência/Tecnologia/Sociedade promoverá certamente uma relação simbiótica entre ciências e tecnologia do século XXI e pressupõe, sem dúvida, que os alunos aprendam e continuem a aprender ciências, ao longo da sua vida.

Os professores têm, deste modo, um grande desafio pois uma das suas funções consiste em relacionar o que ensinam nas escolas com o que é exigido pelas entidades empregadoras.

Na minha opinião, é necessário que o professor crie métodos inovadores de transmissão do conhecimento e que os coloque ao dispor dos alunos e das suas curiosidades, mas para isso é preciso sensibilizar os professores para o estabelecimento de ligações com outros campos do saber. É importante salientar que esta tarefa implica uma constante atualização, por parte dos professores, o recurso à atividade experimental e às tecnologias.

Ao longo dos séculos é visível na Física uma expansão fantástica das fronteiras do conhecimento científico. Todos nós procuramos uma verdade cabal e queremos uma explicação de todas as descobertas do cosmos inclusivamente a da origem do universo.

A inflação, a energia escura e a teoria das cordas são argumentos que defendem a existência de multiverso (s), no entanto, a aceitação deste(s) põe de lado o verdadeiro objetivo da Física Moderna que é encontrar uma explicação unificada, única e simples para todas as forças fundamentais, incluindo a gravidade.

A descrição vivida de Einstein do seu próprio esforço para compreender a gravidade e o empenho e dedicação de Stephen Hawking aos buracos negros, apesar das adversidades da vida, representam, toda a luta humana na busca incessante sobre a origem do universo e mistérios cosmológicos inerentes.

Todavia, se descobrirmos uma teoria completa, deve acabar por ser compreensível, para todas as pessoas, e não apenas para alguns cientistas. Então poderemos todos tomar parte na discussão do porquê da nossa existência e a do universo. Se descobrirmos a resposta, será o triunfo máximo da razão humana.

A descoberta do universo terá uma contribuição magnificente para o ensino de Física e Química. É neste contexto que a autora desta tese tenta contribuir para uma reflexão sobre a necessidade da constante atualização dos professores para a lecionação das suas aulas, sendo um desafio para eles enquanto promotores do ensino-aprendizagem e também sobre a importância do método experimental e dos recursos tecnológicos no âmbito da disciplina de Física e Química, a fim de inspirar futuras gerações de cientistas.

Para finalizar, a autora acrescenta que irá continuar a investir na sua formação pedagógica e científica, em busca de uma contínua melhoria no seu desempenho profissional.

## Referências Bibliográficas

- [1] Asimov, I. (1977). *O Colapso do Universo*. 1ª edição. Lisboa: Círculo de Leitores.
- [2] Asimov, I. (1982). *A Terra e o Cosmos*. Portugal: Publicações Europa- América, Lda.
- [3] Asimov, I. (1991). *O Segredo do Universo*. 1ª edição. Sacavém: Puma Editora, Lda.
- [4] Barrow, John D. & Silk, Joseph. (1989). *A mão esquerda da criação*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [5] Caraça, J. et al. (2011). *Nas Fonteyras do Universo*. 1ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian/Gradiva publicações, S.A.
- [6] Carroll, Sean. (2014). *A partícula no fim do universo*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [7] Dirac, P. et al. (1991). *Em busca da Unificação*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [8] Ferreira, Pedro G. (2014). *Uma teoria perfeita*. 1ª edição. Lisboa: Editorial Presença.
- [9] Fiolhais, C. (1994). *Universo, Computadores e tudo o resto*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [10] Fiolhais, C. (2002). *A coisa mais preciosa que temos*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [11] Gazzinelli, R. (2005). *Teoria da Relatividade Especial*. 1ª edição. Brasil: Editora Edgard Blucher.
- [12] Gribbin, John. (1988). *À procura do Big Bang - Cosmologia e Física Quântica*. 1ª edição. Lisboa: Editorial Presença, Lda.
- [13] Gribbin, J., & Gribbin, M. (2003). *A Dimensão do Universo*. Lisboa: Edições 70, Lda.
- [14] Griffiths, David. (1987). *Introduction to elementary particles*. United States: Copyright.
- [15] Greene, B. (2000). *O Universo Elegante*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [16] Greene, B. (2004). *O Tecido de Cosmos*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [17] Hawking, S. (2010). *A teoria de Tudo - a origem e o destino do universo*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [18] Hawking, S. (2011). *Breve história do tempo*. 8ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [19] Hawking, Stephen, & Mlodinow, Leonard. (2011). *O Grande Desígnio*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [20] Hoyle, F. (1983). *The Intelligent Universe*. 3ª edição. Lisboa: Editorial Presença, Lda.
- [21] Kaku, M. (2005). *O Cosmos de Einstein*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [22] Lago, T. (2006). *Descobrir o Universo*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [23] Longair, Malcolm S. (1991). *As origens do nosso universo*. Lisboa: Edições 70, Lda.

- [24] Lizhi, Fang, & Xian, Lishu. (1994). *A Criação do Universo*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [25] Pagels, M. (1985). *Simetria Perfeita*. 1ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- [26] Rees, M. (2002). *O nosso Habitat Cósmico*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [27] Reeves, H. (1995). *O Primeiro Segundo*. Lisboa: Gradiva.
- [28] Ridpath, I. (2006). *Guias essenciais - Astronomia*. Porto: Civilização, Editores Lda.
- [29] Sagan, C. (2003). *Cosmos*. 6ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [30] Serway, R. (1996). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 4<sup>th</sup> edition. USA: Sanderscollege Publishing.
- [31] Serway, R. (2004). *Physics for Scientists and Engineers*, 6<sup>th</sup> edition. USA: Sanderscollege Publishing.
- [32] Singh, Simon. (2010). *Big Bang*. 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [33] Varela, J. (1996). *O Século dos Quanta*, 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [34] Weinberg, S. (1977). *Os três primeiros minutos*, 1ª edição. Lisboa: Gradiva.
- [35] Weinberg, S. (1996). *Sonhos de uma Teoria Final*, 1ª edição. Lisboa: Gradiva-Publicações, Lda.
- [36] <http://home.web.cern.ch/about> (Acedido a 30 de julho de 2015 pelas 16:31)
- [37] <http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider> (Acedido a 30 de julho de 2015 pelas 16:54)
- [38] <http://home.web.cern.ch/> (Acedido a 3 de agosto de 2015 pelas 20:36)
- [39] <http://www.lip.pt/> (Acedido a 3 de agosto de 2015 pelas 20:42)
- [40] <http://www.lip.pt/files/exposicao-30anos-adesao-cern/Folheto.pdf> (Acedido a 3 de agosto de 2015 pelas 20:53)

[41] <http://public-archive.web.cern.ch/public-archive/en/research/AccelComplex-en.html>  
(Acedido a 18 de agosto de 2015 pelas 23:07)

[42] <http://cms.web.cern.ch/news/detector-overview> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 14:42)

[43] <http://home.web.cern.ch/about/experiments> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 16:14)

[44] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/atlas> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 16:18)

[45] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/cms> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 16:23)

[46] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/alice> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 16:37)

[47] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/lhcb> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 16:39)

[48] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/totem> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 16:47)

[49] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/lhcf> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 16:54)

[50] <http://home.web.cern.ch/about/experiments/moedal> (Acedido a 19 de agosto de 2015 pelas 20:07)

[51] <http://home.web.cern.ch/about/updates/2015/06/smaller-lhc-collaborations-analyse-collisions-13-tev> (Acedido a 20 de agosto de 2015 pelas 9:44)

[52] <http://home.web.cern.ch/about/updates/2015/07/physics-and-music-collide-montreux-jazz-festival> (Acedido a 20 de agosto de 2015 pelas 9:49)

- [53] <http://moedal.web.cern.ch/content/moedal-detector> (Acedido a 22 de agosto de 2015 pelas 23:41)
- [54] [http://www.interactions.org/cms/?pid=2100&image\\_no=CE0159](http://www.interactions.org/cms/?pid=2100&image_no=CE0159) (Acedido a 23 de agosto de 2015 pelas 22:04)
- [55] <http://atlas.ch/blog/?tag=decay-channels> (Acedido a 23 de agosto de 2015 pelas 22:31)
- [56] <http://www.ufo.com.br/noticias/resultados-do-lhc-demonstram-que-o-universo-apos-big-bang-era-liquido> (Acedido a 23 de agosto de 2015 pelas 22:54)
- [57] <http://home.web.cern.ch/about/updates/2015/08/lhc-progresses-towards-higher-intensities> (Acedido a 25 de agosto de 2015 pelas 18:08)
- [58] <http://secretsoftheuniversefilm.com/new-frontiers-in-physics-lhc-started-first-physics-at-13-tev-today/> (Acedido a 25 de agosto de 2015 pelas 19:43)
- [59] <http://timeline.web.cern.ch/timelines/the-history-of-cern/overlay#1957-05-11> (Acedido a 26 de agosto de 2015 pelas 00:31)
- [60] <http://home.web.cern.ch/about/updates/2015/07/discovery-new-class-particles-lhc> (Acedido a 26 de agosto de 2015 pelas 02:46)
- [61] <http://press.web.cern.ch/press-releases/2015/07/cerns-lhcb-experiment-reports-observation-exotic-pentaquark-particles> (Acedido a 26 de agosto de 2015 pelas 02:55)
- [62] <http://www.nature.com/news/forsaken-pentaquark-particle-spotted-at-cern-1.17968> (Acedido a 26 de agosto de 2015 pelas 03:01)
- [63] <http://news.discovery.com/space/pentaquarks-lhc-has-discovered-an-exotic-particle-150714.htm> (Acedido a 26 de agosto de 2015 pelas 21:31)
- [64] [https://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/4208/4/XVENEC\\_resumos5\\_versaoISB\\_N\\_Correto.pdf](https://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/4208/4/XVENEC_resumos5_versaoISB_N_Correto.pdf) (Acedido a 6 de setembro de 2015 pelas 22:43)

[65][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ficheiros/eb\\_cfn\\_orient\\_curriculares\\_3c\\_1.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ficheiros/eb_cfn_orient_curriculares_3c_1.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:06)

[66][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ficheiros/eb\\_cfq\\_metas\\_curriculares\\_3c\\_0.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ficheiros/eb_cfq_metas_curriculares_3c_0.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:16)

[67][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Fisica\\_Quimica\\_A/programa\\_fqa\\_10\\_11.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica_Quimica_A/programa_fqa_10_11.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:24)

[68][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Fisica\\_Quimica\\_A/fisica\\_quimica\\_a\\_10.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica_Quimica_A/fisica_quimica_a_10.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:29)

[69][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Fisica\\_Quimica\\_A/fisica\\_quimica\\_a\\_11.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica_Quimica_A/fisica_quimica_a_11.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:34)

[70][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Fisica/metas\\_curriculares\\_fisica\\_12\\_ano.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica/metas_curriculares_fisica_12_ano.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:35)

[71][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Fisica/fisica\\_12.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica/fisica_12.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:37)

[72][file:///C:/Users/Catia/Downloads/metas\\_curriculares\\_quimica\\_12%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Catia/Downloads/metas_curriculares_quimica_12%20(2).pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:44)

[73][http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Quimica/quimica\\_12.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Quimica/quimica_12.pdf) (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 00:47)

[74] <http://home.web.cern.ch/students-educators/updates/2014/12/cern-inspires-primary-school-students-play-protons> (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 01:53)

[75] <http://home.web.cern.ch/students-educators> (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 01:57)

[76] <http://www.cernland.net/> (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 02:20)

[77] <http://scool.web.cern.ch/content/information-teachers> (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 03:03)

[78] <http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Intro.html> (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 03:25)

[79] <http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/experimental.html> (Acedido a 28 de agosto de 2015 pelas 03:49)

[80] [http://www.dgcaudio.com.br/artigos/microfones\\_-\\_caracteristicas\\_e\\_aplicacoes.pdf](http://www.dgcaudio.com.br/artigos/microfones_-_caracteristicas_e_aplicacoes.pdf) (Acedido a 29 de agosto de 2015 pelas 01:19)

[81] <http://www.sponholtzproductions.com/index.html> (Acedido a 12 de setembro pelas 19:46)

[82] <http://www.euhou.net/index.php/salsaj-software-mainmenu-9> (Acedido a 12 de setembro pelas 21:48)

[83] [http://www.sciencemuseum.org.uk/online\\_science/explore\\_our\\_collections/large\\_hadron\\_collider/the\\_science\\_of\\_particle](http://www.sciencemuseum.org.uk/online_science/explore_our_collections/large_hadron_collider/the_science_of_particle) (Acedido a 13 de setembro pelas 17:10)

[84] [http://bcs.whfreeman.com/universe9e/default.asp#571828\\_574273](http://bcs.whfreeman.com/universe9e/default.asp#571828_574273) (Acedido a 13 de setembro pelas 17:55)

[85] <http://home.web.cern.ch/students-educators/updates/2014/04/playing-protons-primary> (Acedido a 13 de setembro pelas 18:32)

[86] <http://www.casadasciencias.org/> (Acedido a 13 de setembro pelas 19:14)

[87] <http://www.setor3.com.br/jsp/default.jsp?tab=00002&newsID=a7291.htm&subTab=00000&uf=&local=&l=&template=108.dwt&unit=> (Acedido a 13 de setembro pelas 19:47)

[88] <http://porvir.org/laboratorios-criam-ambiente-para-aprendizagem-maker/> (Acedido a 13 de setembro pelas 19:54)

- [89] <https://www.fc.ul.pt/pt/evento/07-10-2015/eureka> (Acedido a 13 de setembro pelas 21:19)
- [90] <http://www.sprace.org.br/sprace-game/sprace-game-v2-pt> (Acedido a 27 de setembro pelas 18:25)
- [91] <http://www.cienciahoje.pt/29> (Acedido a 28 de setembro pelas 1:35)
- [92][http://www.rtp.pt/noticias/mundo/acelerador-de-particulas-do-cern-inicia-nova-fase-de-experiencias\\_n833873](http://www.rtp.pt/noticias/mundo/acelerador-de-particulas-do-cern-inicia-nova-fase-de-experiencias_n833873) (Acedido a 28 de setembro pelas 2:04)
- [93]<http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/from-the-big-bang-to-lhc/Globe-movie-s.mp4> (Acedido a 28 de setembro pelas 3:28)
- [94][http://indico.cern.ch/event/16623/contribution/23/attachments/201711/283187/Accelerator\\_course\\_english\\_July\\_2007.pdf](http://indico.cern.ch/event/16623/contribution/23/attachments/201711/283187/Accelerator_course_english_July_2007.pdf) (Acedido a 28 de setembro pelas 3:49)
- [95]<http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/portuguese/lectures.htm> (Acedido a 1 de outubro pelas 2:57)
- [96]<http://www.stfc.ac.uk/research/particle-physics-and-particle-astrophysics/particle-physics/lhc-large-hadron-collider-resource-portal/> (Acedido a 1 de outubro pelas 3:10)
- [97]<http://test4theory.cern.ch/vas/> (Acedido a 1 de outubro pelas 3:22)
- [98]<http://ippog.web.cern.ch/resources/2011/particle-detectives-lhc-project-simulator> (Acedido a 1 de outubro pelas 4:23)
- [99] [www.auger.org](http://www.auger.org) (Acedido a 1 de outubro pelas 4:41)
- [100] <http://www.lip.pt/~auger/DadosPublicos.php> (Acedido a 1 de outubro pelas 4:56)
- [101][http://users.phys.psu.edu/~coutu/Auger\\_Google\\_Earth.htm](http://users.phys.psu.edu/~coutu/Auger_Google_Earth.htm)(Acedido a 1 de outubro pelas 5:12)
- [102] <http://www.cpepphysics.org/> (Acedido a 2 de outubro pelas 22:33)
- [103] <http://www.particleadventure.org/> (Acedido a 2 de outubro pelas 22:51)
- [104]<http://home.web.cern.ch/about/physics/cosmic-rays-particles-outer-space> (Acedido a 3 de outubro pelas 16:15)
- [105]<http://www.fcencias.com/2014/09/18/detectando-particulas-subatomicas-laboratorio-online/> (Acedido a 3 de outubro pelas 20:33)

- [106] <http://www.hawking.org.uk/> (Acedido a 3 de outubro pelas 21:42)
- [107] <http://home.cern/topics/higgs-boson>  
(Acedido a 21 de fevereiro pelas 15:41)
- [108] <http://home.cern/topics/higgs-boson/origins-brout-englert-higgs-mechanism>  
(Acedido a 27 de fevereiro pelas 15:44)
- [109] <http://home.cern/about/physics/supersymmetry> (Acedido a 9 de março pelas 2:64)
- [110] <http://home.cern/about/physics/dark-matter> (Acedido a 25 de março pelas 22:31)
- [111] <https://www.astro.up.pt/divulgacao/index.php?WID=462&CID=1&ID=184&Lang=pt> (Acedido a 4 de abril pelas 00:53)
- [112] [https://aleph.web.cern.ch/aleph/aleph/newpub/glossary\\_terms.html](https://aleph.web.cern.ch/aleph/aleph/newpub/glossary_terms.html) (Acedido a 19 de maio de 2016 pelas 00:55)
- [113] Schwarzschild, K. (1916). "Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie". Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften 7: 189–196. and Schwarzschild, K. (1916). "Über das Gravitationsfeld einer Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit nach der Einsteinschen Theorie". Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften 18: 424–434.
- [114] Eddington, A.S. (1924). "A Comparison of Whitehead's and Einstein's Formulae". Nature 113 (2832) 192.
- [115] Venkataraman, G. (1992). Chandrasekhar and his limit. Universities Press. p. 89. ISBN 81-7371-035-X.
- [116] Oppenheimer, J. R.; Volkoff, G. M. (1939). "On Massive Neutron Cores". Physical Review 55 (4): 374–381.
- [117] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Supersimetria> (Acedido a 19 de setembro pelas 00:02)
- [118] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Universo> (Acedido a 18 de setembro pelas 10:09)
- [119] [http://www.lip.pt/particulas/files/LIP\\_Livro\\_compressed.pdf](http://www.lip.pt/particulas/files/LIP_Livro_compressed.pdf) (Acedido a 18 de setembro pelas 11:57)

[120] <http://ftp.infoeuropa.euroid.pt/database/000046001-000047000/000046258.pdf>

(Acedido a 22 de setembro pelas 22:52)

[121] <http://www.presenca.pt/files//products/Exc10370057.pdf> (Acedido a 22 de setembro pelas 23:44)

[122] [http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ficheiros/programa\\_fqa\\_10\\_11.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ficheiros/programa_fqa_10_11.pdf)

(Acedido a 22 de setembro pelas 23:51)

[123] [http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/EInfancia/documentos/lei\\_bases\\_do\\_sistema\\_educativo\\_46\\_86.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/EInfancia/documentos/lei_bases_do_sistema_educativo_46_86.pdf) (Acedido a 23 de setembro pelas 10:17)

### **Referências Legislativas**

[124] Decreto-Lei n.º 6/2001, de 18 de janeiro. *Reorganização Escolar do Ensino Básico*. Lisboa: Ministério da Educação.

[125] Decreto-lei n.º 94/2011, de 3 de agosto. *Revisão da organização curricular dos 2.º e 3.º ciclos do ensino*. Lisboa: Ministério da Educação e Ciência.

[126] Despacho n.º 17169/2011, de 23 de dezembro. *Revogação do documento Currículo Nacional do Ensino Básico - Competências Essenciais*. Lisboa: Ministério da Educação e Ciência.

## APÊNDICES

## Apêndice 1

[Home](#)[For Teachers](#)[For Students](#)[Experiments](#)[Contact](#)

## Welcome to S'Cool LAB

S'Cool LAB is a new hands-on teaching facility for modern physics at [CERN](http://home.web.cern.ch/) (<http://home.web.cern.ch/>), the European Organization for Nuclear Research.

Established by a convention in 1954, the mission of [CERN](http://home.web.cern.ch/) (<http://home.web.cern.ch/>) has four strands:



<http://home.web.cern.ch/> ■ Collaborating - Bringing nations together through science

■ Education - Training the scientists of tomorrow

■ Research - Seeking and finding answers to questions about the universe

■ New Technologies - Advancing the frontiers of technology

S'Cool LAB is a place where school students from all over the world - the scientists of tomorrow - can learn about these missions: they work in a team using high tech equipment to explore particle physics and its applications, maybe not answering questions about the universe but starting to ask questions and discussing their ideas with experienced scientists. In addition, hands-on activities in S'Cool LAB will be combined with visits to [CERN](http://home.web.cern.ch/) (<http://home.web.cern.ch/>) research facilities to see inside the world's largest particle physics laboratory.

If you are a teacher and interested in S'Cool LAB, please have a look at the [For Teachers](http://scool.web.cern.ch/content/information-teachers) (<http://scool.web.cern.ch/content/information-teachers>) page to learn more about the application process.

## Information for Students

### Welcome to S'Cool LAB!

CERN is the world's largest particle physics laboratory. Its success depends on highly motivated, creative and extremely well trained people who want to push back the boundaries of knowledge and technology.

### For future discoveries, we need you!

Visiting CERN's research facilities, you will gain insight into particle physics, technologies and life at CERN. After these visits you will have the chance to deepen your knowledge and learn about fundamental interactions and particles in S'Cool LAB: hands-on experiments will help you to understand the basic principles of particle physics, particle acceleration and particle detection.

We will soon provide e-learning content to prepare you for your visit to CERN. We will send you all the information you need to log on about a month before your visit.



## Our List of Experiments

[Particle Acceleration](#)[Basic Principles](#)[Particle Detection](#)

### Electron tube



#### Description:

- Deflection of an electron beam in magnetic and electric fields.
- Electromagnet and its magnetic field (Dipole, Quadrupole).

#### Link to CERN physics:

- Acceleration of electrically charged particles by electric fields.

- Deflection of electrically charged particles by Dipole magnets.
- Focusing of electrically charged particles by Quadrupole magnets.



## Superconductivity



### Description:

- Determining the transition temperature of a high-temperature superconductor.
- Meissner-Ochsenfeld effect.

### Link to CERN physics:

- Superconducting electromagnets in the LHC.



## Specific charge of the Electron $e/m$

### Description:

- Acceleration of electrons in an electric field.
- Deflection of electrons in a magnetic field.
- Determination of

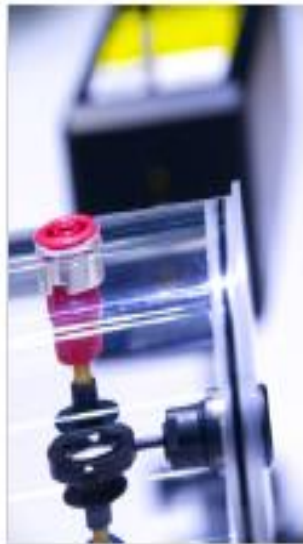


the specific charge  
of the electron  $e/m$ .

**Link to CERN  
physics:**

- Deflection of particles in the LHC magnets.
- Electron as elementary particle.

**Paul Trap**



**Description:**

- Trap lycopod spores in a Paul trap and observe them under laser light.
- Two rotationally symmetrical cover electrodes and one ring electrode are used to trap lycopod spores.

**Link to CERN  
physics:**

- Particle traps.



## Our List of Experiments

[Particle Acceleration](#)

[Basic Principles](#)

[Particle Detection](#)

### Radioactivity



#### Description:

- Measure characteristics of radiation with GAMMASCOUT (Geiger counter).
  - Attenuation, Absorption.
  - Deflection in magnetic fields.
  - Inverse square law.

#### Link to CERN physics:

- Basic principles.
- Dosimetry.

2015

## Hall Effect



### Description:

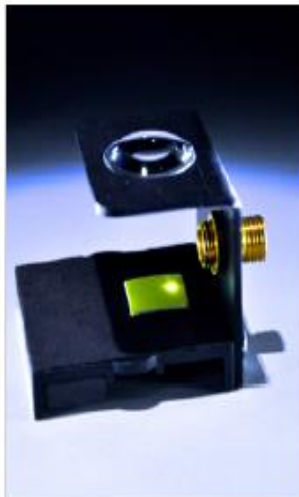
- Hall voltage of a rectangular germanium sample is measured as a function of temperature and magnetic field.

### Link to CERN physics:

- Measure magnetic fields.

2015

## Spinthariscopes



### Description:

- Observe scintillations produced on an exposed zinc sulphide screen by radiation from radioactive decay through a magnifying lens.
- Used with Ra-226 preparation.

### Link to CERN physics:

- Historical method to detect particles (used by Rutherford e.g.).
- Principle of scintillation that is used now e.g. in ATLAS to measure the energy of particles.

2015

## Franck-Hertz Experiment



### Description:

- Observe (discrete) excitation of electrons in Neon molecules.
- Quantization of energy.

### Link to CERN physics:

- Basic principles.

2015

## Planck's Constant



### Description:

- Photoelectric effect.
- Measure the kinetic energy of released electrons as function of photon energy.
- Determine Planck's constant  $h$ .

### Link to CERN physics:

- Basic principles.

2015

## Rutherford Experiment

### Description:

- Measure the scattering rate of alpha-particles as a function of the scattering angle (Am-241).

2015



**Link to CERN physics:**

- Probe the unseen inner structure of particle systems.
- Fixed target experiment.

## Our List of Experiments

[Particle Acceleration](#)

[Basic Principles](#)

[Particle Detection](#)

### Cloud Chamber



#### Description:

- Make cosmic particles and natural radiation visible
- Study their properties.

#### Link to CERN physics:

- Particle detection.
- Discovery of the Positron and the Muon.
- Muon transformation.

# X-Rays

[http://cool.web.cern.ch/experiments/particle\\_detection](http://cool.web.cern.ch/experiments/particle_detection)

114

02/10/2015



Particle Detection | S'Cool LAB

- Study properties of X-rays and their applications, e.g. X-ray spectrum, attenuation, inverse square law, detection by GM counter tube, dosimetry, radiography.

**Link to CERN physics:**

- Photons and their interactions with matter (photoelectric effect, Compton scattering).
- Photon detection.
- Medical applications (imaging).

## MX-10 Medipix



**Description:**

- Measure cosmic particles and natural radiation.
- Study properties of  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  radiation.
- Measure attenuation of radiation.

**Link to CERN physics:**

- Digital radiation video camera.
- Pixelated 300 $\mu$ m Si detector chip

2015

## Cosmic Muon Observer



### Description:

- 3 Scintillation counters and a DAQ card to measure properties of cosmic muons, e.g. particle rate at different angles, speed of cosmic muons, life time of muons.

### Link to CERN physics:

- Particle detection using scintillators.
- Coincidence measurements.
- Cosmic particles.

## KamioKannen

### Description:

- Measure cosmic muons by analyzing the Cherenkov light produced in a water filled can.
- Particle rate at different angles and distances, shielding



effects.

- Life time of muons.

**Link to CERN**

**physics:**

- Particle detection using Cherenkov detectors.
- Cosmic particles.

## Gamma-Gamma-Coincidence

2015



**Description:**

- Coincidence and  $\gamma$ - $\gamma$  angular correlation in positron-electron annihilation.
- Scintillation counters.
- Conservation of momentum.

**Link to CERN**

**physics:**

- Anti particles and annihilation processes.
- Medical applications of particle physics (PET scanner).



[Home](#)

[For Teachers](#)

[For Students](#)

[Experiments](#)

[Contact](#)

## Contact form

You can use this form to get in touch with us.

**Your name \***

**Your e-mail address \***

**Subject \***

**What is your message about? \***

**Message \***

## Apêndice 2



### Apêndice 3

