

História da Física

A Física é a ciência das propriedades da matéria e das forças naturais. Suas formulações são em geral compactantes expressas em linguagem matemática.

A introdução da investigação experimental e a aplicação do método matemático contribuíram para a distinção entre Física, filosofia e religião, que, originalmente, tinham como objetivo comum compreender a origem e a constituição do Universo.

A Física estuda a matéria nos níveis molecular, atômico, nuclear e subnuclear. Estuda os níveis de organização ou seja os estados sólido, líquido, gasoso e plasmático da matéria. Pesquisa também as quatro forças fundamentais: a da gravidade (força de atração exercida por todas as partículas do Universo), a eletromagnética (que liga os elétrons aos núcleos), a interação forte (que mantém a coesão do núcleo e a interação fraca (responsável pela desintegração de certas partículas - a da radiatividade).

FÍSICA TEÓRICA E EXPERIMENTAL

A Física experimental investiga as propriedades da matéria e de suas transformações, por meio de transformações e medidas, geralmente realizada em condições laboratoriais universalmente repetíveis. A Física teórica sistematiza os resultados experimentais, estabelece relações entre conceitos e grandezas Físicas e permite prever fenômenos inéditos.

FATOS HISTÓRICOS

A Física se desenvolve em função da necessidade do homem de conhecer o mundo natural e controlar e reproduzir as forças da natureza em seu benefício.

Física na Antigüidade

É na Grécia Antiga que são feitos os primeiros estudos "científicos" sobre os fenômenos da natureza. Surgem os "filósofos naturais" interessados em racionalizar o mundo sem recorrer à intervenção divina.

Atomistas Gregos

A primeira teoria atômica começa na Grécia, no século V a.C. Leucipo, de Mileto, e seu aluno Demócrito, de Abdera (460 a.C. - 370 a.C.) , formulam as primeiras hipóteses sobre os componentes essenciais da matéria. Segundo eles, o Universo é formado de átomos e vácuo. Os átomos são infinitos e não podem ser cortados ou divididos. São sólidos mas de tamanho tão reduzido que não podem ser vistos. Estão sempre se movimentando no vácuo.

Física Aristotélica

É com Aristóteles que a Física e as demais ciências ganham o maior impulso na Antigüidade . Suas principais contribuições para a Física são as idéias sobre o movimento, queda de corpos pesados (chamados "graves", daí a origem da palavra "gravidade") e o geocentrismo . A lógica aristotélica irá dominar os estudos da Física até o final da Idade Média.

Aristóteles - (384 a.C. - 322 a.C.) Nasce em Estagira, antiga Macedônia (hoje, Província da Grécia) . Aos 17 anos muda-se para Atenas e passa a estudar na Academia de Platão, onde fica por 20 anos . Em 343 a.C. torna-se tutor de Alexandre, o grande, na Macedônia. Quando Alexandre assume o trono, em 335 a.C. , volta a Atenas e começa a organizar sua própria escola, localizada em um bosque dedicado a Apolo Liceu - por

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

isso, chamada de Liceu . Até hoje, se conhece apenas um trabalho original de Aristóteles (sobre a Constituição de Atenas) . Mas as obras divulgadas por meio de discípulos tratam de praticamente todas as áreas do

conhecimento : lógica, ética, política, teologia, metaFísica, poética, retórica, Física, psicologia, antropologia, biologia. Seus estudos mais importantes foram reunidos no livro Órganom .

Geocentrismo - Aristóteles descreve o cosmo como um enorme (porém finito) círculo onde existem nove esferas concêntricas girando em torno da Terra, que se mantêm imóvel no centro delas.

Gravidade - Aristóteles considera que os corpos caem para chegar ao seu lugar natural. Na antiguidade, consideram-se elementos primários a terra, a água, ar e fogo. Quanto mais pesado um corpo (mais terra) mais rápido cai no chão. A água se espalha pelo chão porque seu lugar natural é a superfície da Terra. O lugar natural do ar é uma espécie de capa em torno da Terra. O fogo fica em uma esfera acima de nossas cabeças e por isso as chamas queimam para cima.

Primórdios da Hidrostática

A hidrostática, estudo do equilíbrio dos líquidos, é inaugurada por Arquimedes. Diz a lenda que Hierão, rei de Siracusa, desafia Arquimedes a encontrar uma maneira de verificar sem danificar o objeto, se era de ouro maciço uma coroa que havia encomendado. Arquimedes soluciona o problema durante o banho. Percebe que a quantidade de água deslocada quando entra na banheira é igual ao volume de seu corpo. Ao descobrir esta relação sai gritando pelas ruas "Eureka, eureka !" (Achei, achei !) . No palácio, mede então a quantidade de água que transborda de um recipiente cheio quando nele mergulha sucessivamente o volume de um peso de ouro igual ao da coroa, o volume de um peso de prata igual ao da coroa e a própria coroa. Este, sendo intermediário aos outros dois, permite determinar a proporção de prata que fora misturada ao ouro.

Princípio de Arquimedes - A partir dessas experiências Arquimedes formula o princípio que leva o seu nome: todo corpo mergulhado em um fluído recebe um impulso de baixo para cima (empuxo) igual ao peso do volume do fluído deslocado. Por isso os corpos mais densos do que a água afundam e os mais leves flutuam. Um navio, por exemplo, recebe um

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

empuxo igual ao peso do volume de água que ele desloca. Se o empuxo é superior ao peso do navio ele flutua.

Arquimedes - (287 a.C. - 212 a.C.) - nasce em Siracusa, na Sicília . Freqüenta a Biblioteca de Alexandria e lá começa seus estudos de matemática. Torna-se conhecido pelos estudos de hidrostática e por suas invenções, como o parafuso sem ponta para elevar água. também ganha fama ao salvar Siracusa do ataque dos romanos com engenhosos artefatos bélicos. Constrói um espelho gigante que refletia os raios solares e queimava a distância os navios inimigos. É também atribuído a Arquimedes o princípio da alavanca . Com base neste princípio, foram construídas catapultas que também ajudaram a resistir aos romanos. Depois de mais de três anos, a cidade é invadida é Arquimedes e assassinado por um soldado romano.

Yin e Yang

Os chineses também iniciaram na Antiguidade estudos relacionados à Física. Não se ocupam de teorias atômicas ou estrutura da matéria. Procuram explicar o Universo como resultado do equilíbrio das forças opostas Yin e Yang . Estas palavras significam o lado sombreado e ensolarado de uma montanha e simbolizam forças opostas que se manifestam em todos os fenômenos naturais e aspectos da vida. Quando Yin diminui, Yang aumenta e vice-versa .

A noção de simetria dinâmica de opostos inaugurada pela noção de Yin e Yang será retomada no início do século XX com a teoria quântica (ver Princípio da incerteza neste capítulo) .

REVOLUÇÃO COPERNICANA

Em 1510 Nicolau Copérnico rompe com mais de dez séculos de domínio do geocentrismo. No livro *Commentariolus* diz pela primeira vez que a Terra não é o centro do Universo e sim um entre outros tantos planetas que giram em torno do Sol. Enfrenta a oposição da Igreja Católica, que adotara o sistema aristotélico como dogma e faz da Física um campo de estudo específico.

Para muitos historiadores, a revolução copernicana se consolida apenas um século depois com as descobertas telescópicas e a mecânica de Galileu Galilei (1564-1642) e as leis de movimentos dos planetas dos planetas de Joannes Kepler (1571-1630).

Heliocentrismo - "O centro da Terra não é o centro do mundo (Universo) e sim o Sol". Este é o princípio do heliocentrismo (que tem o Sol do grego hélio - como centro), formulado por Nicolau Copérnico e marco da concepção moderna de Universo. Segundo o heliocentrismo, todos os planetas, entre eles a Terra, giram em torno do Sol descrevendo órbitas circulares.

Nicolau Copérnico - (1473 - 1543) nasce em Torun, na Polônia. Estuda matemática, os clássicos gregos, direito canônico (em Bolonha, na Itália) e medicina (em Pádua, Itália) e só depois se dedica exclusivamente à área que realmente lhe interessava: a astronomia. Em 1513 constrói um observatório e começa a estudar o movimento dos corpos celestes. A partir dessas observações, escreve *Das revoluções dos corpos celestes* com os princípios do heliocentrismo. Copérnico revoluciona a idéia que o homem tinha de si mesmo (visto como imagem de Deus e por isso centro de tudo) e dá novo impulso a todas as ciências ao colocar a observação e a experiência acima da autoridade e dos dogmas.

FÍSICA CLÁSSICA

O século XVII lança as bases para a Física da era industrial. Simon Stevin desenvolve a hidrostática, ciência fundamental para seus país, a Holanda, protegida do mar por comportas e diques. Na óptica, contribuição equivalente é dada por Christiaan Huygens, também holandês, que constrói lunetas e desenvolve teorias sobre a propagação da luz. Huygens é o primeiro a descrever a luz como onda. Mas é Isaac Newton (1642-1727), cientista inglês, o grande nome dessa época: são dele a teoria geral da mecânica e da gravitação universal e o cálculo infinitesimal.

Isaac Newton - (1642- 1727) nasce em Woolsthorpe, Inglaterra, no mesmo ano da morte de Galileu. (começa a estudar na Universidade de Cambridge com 18 anos e aos 26 já se torna catedrático. Em 1687 publica Princípios matemáticos da filosofia natural. Dois anos depois é eleito membro do Parlamento como representante da Universidade de Cambridge. Já em sua época é reconhecido como grande cientista que revoluciona a Física e a matemática. Preside a Royal Society (academia de ciência) por 24 anos. Nos últimos anos de vida dedica-se exclusivamente a estudos teológicos.

Cálculo diferencial - por volta de 1664, quando a universidade é fechada por causa da peste bubônica, Newton volta à sua cidade natal. Em casa, desenvolve o teorema do binômio e o método matemático das fluxões. Newton considera cada grandeza finita resultado de um fluxo contínuo, o que torna possível calcular áreas limitadas por curvas e o volume de figuras sólidas. Este método dá origem ao cálculo diferencial e integral .

Decomposição da luz - Newton pesquisa também a natureza da luz. Demonstra que, ao passar por um prisma, a luz branca se decompõe nas cores básicas do espectro luminoso: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta.

Leis da mecânica - A mecânica clássica se baseia em três leis.

- Primeira lei - É a da inércia. Diz que um objeto parado e um objeto em movimento tendem a se manter como estão a não ser que uma força externa atue sobre eles.

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

- Segunda lei - Diz que a força é proporcional à massa do objeto e sua aceleração. A mesma força irá mover um objeto com massa duas vezes maior com metade da aceleração.
- Terceira lei - Diz que para toda ação há uma reação equivalente e contrária. Este é o princípio da propulsão de foguetes: quando os gases "queimados" (resultantes da combustão do motor) escapam pela parte final do foguete, fazem pressão em direção oposta, impulsionando-o para a frente.

Gravitação universal - observando uma maçã que cai de uma árvore do jardim de sua casa, ocorre a Newton a idéia de explicar o movimento dos planetas como uma queda. A força de atração exercida pelo solo sobre a maçã poderia ser a mesma que faz a Lua "cair" continuamente sobre a Terra.

Principia - Durante os 20 anos seguintes, Newton desenvolve os cálculos que demonstram a hipótese da gravitação universal e detalha estudos sobre a luz, a mecânica e o teorema do binômio. Em 1687 publica *Princípios matemáticos da filosofia natural*, conhecida como *Principia*, obra-prima científica que consolida com grande precisão matemática suas principais descobertas. Newton prova que a Física pode explicar tanto fenômenos terrestres quanto celestes e por isso é universal.

FÍSICA APLICADA

No século XVIII, embora haja universidades e academias nos grandes centros, mais uma vez é por motivos práticos que a Física se desenvolve. A revolução industrial marca nova fase da Física. As áreas de estudos se especializam e a ligação com o modo de produção torna-se cada vez mais estreita.

Termodinâmica

Estuda as relações entre calor e trabalho. Baseia-se em dois princípios: o da conservação de energia e o de entropia. Estes princípios são a base de máquinas a vapor, turbinas, motores de combustão interna, motores a jato e máquinas frigoríficas.

A partir de uma máquina concebida para retirar a água que inundava as minas de carvão, o inglês Thomas Newcomen cria em 1698 a máquina a vapor, mais tarde aperfeiçoada pelo escocês James Watt. É em torno do desempenho dessas máquinas que o engenheiro francês Sadi Carnot estabelece uma das mais importantes sistematizações da termodinâmica, delimitando a transformação de energia térmica (calor) em energia mecânica (trabalho).

Primeiro princípio - É o da conservação da energia. Diz que a soma das trocas de energia em um sistema isolado é nula. Se, por exemplo, uma bateria é usada para aquecer água, a energia da bateria é convertida em calor mas a energia total do sistema, antes e depois de o processo começar, é a mesma.

Segundo princípio - Em qualquer transformação que se produza em um sistema isolado, a entropia do sistema aumenta ou permanece constante. Não há portanto qualquer sistema térmico perfeito no qual todo o calor é transformado em trabalho. Existe sempre uma determinada perda de energia.

Entropia - tendência natural da energia se dispersar e da ordem evoluir invariavelmente para a desordem. O conceito foi sistematizado pelo austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) e explica o desequilíbrio natural entre trabalho e calor.

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

Zero absoluto - 0 Kelvin (equivalente a $-273,15^{\circ}$ C ou $-459,6^{\circ}$ F) ou "zero absoluto" não existe em estado natural. A esta temperatura a atividade molecular (atômica) é nula.

Lord Kelvin - (1824- 1907) é como ficou conhecido o físico irlandês William Thomson, barão Kelvin of Largs. Filho de matemático, forma-se em Cambridge e depois se dedica à ciência experimental. Em 1832 descobre que a descompressão dos gases provoca esfriamento e cria uma escala de temperaturas absolutas.

ELETROMAGNETISMO

Em 1820, o dinamarquês Hans Oersted relaciona fenômenos elétricos aos magnéticos ao observar como a corrente elétrica alterava o movimento da agulha de uma bússola. Michel Faraday inverte a experiência de Oersted e verifica que os magnetos exercem ação mecânica sobre os condutores percorridos pela corrente elétrica e descobre a indução eletromagnética, que terá grande aplicação nas novas redes de distribuição de energia.

Indução eletromagnética - Um campo magnético (variável) gerado por uma corrente elétrica (também variável) pode induzir uma corrente elétrica em um circuito. A energia elétrica também pode ser obtida a partir de uma ação mecânica: girando em torno de um eixo, um enrolamento de fio colocado entre dois ímãs provoca uma diferença de potencial (princípio do dínamo).

Michael Faraday - (1791-1867) é um caso raro entre os grandes nomes da ciência. Nasce em Newington, Inglaterra. Começa a trabalhar aos 14 anos como aprendiz de encadernador. Aproxima-se das ciências como autodidata e depois torna-se assistente do químico Humphy Davy. Apesar de poucos conhecimentos teóricos, o espírito de experimentação de Faraday o leva a importantes descobertas para a química e Física. Consegue liquefazer praticamente todos os gases conhecidos. Isola o benzeno. Elabora a teoria da eletrólise, a indução eletromagnética e esclarece a noção de energia eletrostática.

Raios catódicos - São feixes de partículas produzidos por um eletrodo negativo (cátodo) de um tubo contendo gás comprimido. São resultado da ionização do gás e provocam luminosidade. Os raios catódicos são identificados no final do século passado por Willian Crookes. O tubo de raios catódicos é usado em osciloscópios e televisões.

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

Raios X - Em 1895 Wilhelm Konrad von Röntgen descobre acidentalmente os raios X quando estudava válvulas de raios catódicos. Verificou que algo acontecia fora da válvula e fazia brilhar no escuro focos fluorescentes. Eram raios capazes de impressionar chapas fotográficas através de papel preto. Produziam fotografias que revelavam moedas nos bolsos e os ossos das mãos. Estes raios desconhecidos são chamadas simplesmente de "x"

Wilhelm Konrad von Röntgen - (1845-1923) nasce em Lennep, Alemanha, e estuda Física na Holanda e na Suíça . Realiza estudos sobre elasticidade, capilaridade, calores específicos de gases, condução de calor em cristais e absorção do calor por diferentes gases. Pela descoberta dos raios X recebe em 1901 o primeiro prêmio Nobel de Física da História.

Radiatividade - É a desintegração espontânea do núcleo atômico de alguns elementos (urânio, polônio e rádio), resultando em emissão de radiação. Descoberta pelo francês Henri Becquerel (1852 - 1909) poucos meses depois da descoberta dos raios X. Becquerel verifica que, além de luminosidade, as radiações emitidas pelo urânio são capazes de penetrar a matéria.

Dois anos depois, Pierre Curie e sua mulher, a polonesa Marie Curie, encontram fontes radiativas muito mais fortes que o urânio. Isolam o rádio e o polônio e verificam que o rádio era tão potente que podia provocar ferimentos sérios e até fatais nas pessoas que dele se aproximavam.

Tipos de radiação - Existem três tipos de radiação; alfa, beta e gama. A radiação alfa é uma partícula formada por um átomo de hélio com carga positiva. Radiação beta é também uma partícula, de carga negativa, o elétron. A radiação gama é uma onda eletromagnética. As substâncias radiativas emitem continuamente calor e têm a capacidade de ionizar o ar e torná-lo condutor de corrente elétrica. São penetrantes e ao atravessarem uma substância chocam-se com suas moléculas.

Estrutura do Átomo

Em 1803 , John Dalton começa a apresentar sua teoria de que a cada elemento químico corresponde um tipo de átomo . Mas é só em 1897, com a descoberta do elétron, que o átomo deixa de ser uma unidade indivisível como se acreditava desde a Antiguidade.

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

Descoberta do elétron - Em 1897 Joseph John Thomson, ao estudar os raios X e raios catódicos, identifica partículas de massa muito pequena, cerca de 1.800 vezes menores que a do átomo mais leve. Conclui que o átomo não é indivisível mas composto por partículas menores.

Modelo pudim - Thomson diz que os átomos são formados por uma nuvem de eletricidade positiva na qual flutuam, como ameixas em volta de um pudim, partículas de carga negativa - os elétrons.

Modelo planetário - Em 1911 Ernest Rutherford bombardeia uma lâmina de ouro com partículas em alta velocidade. Observa que algumas partículas atravessam o anteparo e outras ricocheteiam. Descobre que existem espaços vazios no átomo, por isso algumas partículas passaram pela lâmina. Verifica também que há algo consistente contra o que outras partículas se chocaram e refletiram. Conclui que o átomo possui um núcleo (de carga positiva) em volta do qual orbitam elétrons, como planetas girando em torno do Sol. O modelo planetário é aperfeiçoado por Niels Bohr com fundamentos da Física quântica.

Prótons - 1919 Rutherford desintegra o núcleo de nitrogênio e detecta partículas nucleares de carga positiva. Elas seriam chamadas de prótons. Segundo Rutherford, o núcleo é responsável pela maior massa do átomo. Anuncia a hipótese de existência do nêutron, confirmada apenas 13 anos depois.

Nêutrons - 1932 James Chadwick membro da equipe, de Rutherford, descobre os nêutrons, partículas nucleares com a mesma massa do próton mas com carga elétrica neutra.

Ernest Rutherford - (1871 - 1937) nasce em Nelson, na Nova Zelândia, onde começa a estudar Física. Suas maiores contribuições foram as pesquisas sobre radiatividade e teoria nuclear. Em 1908 cria um método para calcular a energia liberada nas transformações radiativas e recebe o prêmio Nobel de química. Em 1919 realiza a primeira transmutação induzida e transforma um núcleo de nitrogênio em oxigênio através do bombardeamento com partículas alfa. A partir daí dedica-se a realizar transmutações de vários tipos de elementos. Em 1931 torna-se o primeiro barão Rutherford de Nelson .

ERA QUÂNTICA

A grande revolução que leva a Física à modernidade e a teoria quântica, que começa a se definir no fim do século XIX . É a inauguração de uma nova "lógica" resultante das várias pesquisas sobre a estrutura do átomo, radiatividade e ondulatória.

Max Planck é quem define o conceito fundamental da nova teoria - o quanta. Mas a teoria geral é de autoria de um grupo internacional de físicos, entre os quais: Niels Bohr (Dinamarca), Louis De Broglie (França), Erwin, Schrödinger e Wolfgang , Pauli (Áustria), Werner Heisenberg (Alemanha), e Paul Dirac (Inglaterra).

Quanta - Em 1900 o físico alemão Max Planck afirma que as trocas de energia não acontecem de forma contínua e sim em doses, ou pacotes de energia, que ele chama de quanta. A introdução do conceito de descontinuidade subverte o princípio do filósofo alemão Wilhelm Leibniz (1646-1716), "natura non facit saltus"(a natureza não dá saltos), que dominava todos os ramos da ciência na época.

Max Planck - (1858-1947) nasce em Kiel, Alemanha. Filho de juristas, chega a oscilar entre a carreira musical e os estudos científicos. Decide-se pela Física e se dedica à carreira acadêmica até o fim da vida. Em 14 de dezembro de 1900, durante uma reunião da Sociedade Alemã de Física, apresenta a noção de "quanta elementar de ação". Em sua autobiografia Planck diz que na época não previa os efeitos revolucionários dos quanta. Em 1918 recebe o prêmio Nobel de Física.

Modelo quântico do átomo - Surge em 1913, elaborado por Niels Bohr (1885-1962). Segundo ele, os elétrons estão distribuídos em níveis de energia característicos de cada átomo. Ao absorver um quanta de energia, um elétron pode pular para outro nível e depois voltar a seu nível original, emitindo um quanta idêntico.

Dualidade Quântica

A grande marca da mecânica quântica é a introdução do conceito de dualidade e depois, com Werner Heisenberg, do princípio de incerteza. Para a mecânica quântica, o universo é essencialmente não-

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

determinístico. O que a teoria oferece é um conjunto de prováveis respostas. No lugar do modelo planetário de átomo, com elétrons orbitando em volta de um núcleo, a quântica propõe um gráfico que indica zonas onde eles têm maior ou menor probabilidade de existir. Toda matéria passa a ser entendida segundo uma ótica dual: pode se comportar como onda ou como partícula. É o rompimento definitivo com a mecânica clássica, que previa um universo determinístico.

Princípio da incerteza - Em 1927 Werner Heisenberg formula um método para interpretar a dualidade da quântica, o princípio da incerteza. Segundo ele, pares de variáveis interdependentes como tempo e energia, velocidade e posição, não podem ser medidos com precisão absoluta. Quanto mais precisa for a medida de uma variável, mais imprecisa será a segunda. "Deus não joga dados", dizia Albert Einstein, negando os princípios na nova mecânica.

RELATIVIDADE

A teoria da relatividade surge em duas etapas e altera profundamente as noções de espaço e tempo. Enquanto a mecânica quântica é resultado do trabalho de vários físicos e matemáticos, a relatividade é fruto exclusivo das pesquisas de Albert Einstein.

Relatividade Restrita - Em 1905 ele formula a Teoria da Relatividade Restrita (ou especial), segundo a qual a distância e o tempo podem ter diferentes medidas segundo diferentes observadores. Não existe portanto tempo e espaço absolutos como afirmara Newton no Principia, mas grandezas relativas ao sistema de referência segundo o qual elas são descritas.

Raios simultâneos - Einstein dá o exemplo dos raios e o trem. Dois indivíduos observam dois raios que atingem simultaneamente as extremidades de um trem (que anda em velocidade constante em linha reta) e chamuscam o chão. Um homem está dentro do trem, exatamente na metade dele. O segundo indivíduo está fora, bem no meio do trecho entre as marcas do raio. Para o observador que está no chão, os raios caem simultaneamente. Mas o homem no trem dirá que os raios caíram em momentos sucessivos, porque ele, ao mesmo tempo que se desloca em direção ao relâmpago da frente, se afasta do relâmpago que cai na parte traseira. Este último relâmpago deve percorrer uma distância maior do que o primeiro para chegar até o observador. Como a velocidade da luz é constante, o relâmpago da frente "chega" antes que o de trás.

Relatividade Geral

Dez anos depois, Einstein estende a noção de tempo-espaço à força da gravidade. A Teoria Geral da Relatividade (1916), classificada pelo próprio Einstein como "bonita esteticamente", é também uma teoria da gravidade capaz de explicar a força de atração pela geometria tempo-espaço .

A fórmula relativa - A "revolução" de Einstein Torna popular a fórmula Física $E = mc^2$ (energia é igual a massa vezes o quadrado da velocidade da luz). A equivalência entre massa e energia (uma pequena quantidade de massa pode ser transformada em uma grande quantidade de energia)

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

permite explicar a combustão das estrelas e dar ao homem maior conhecimento sobre a matéria. É a expressão teórica das enormes

reservas de energia armazenadas no átomo na qual se baseiam os artefatos nucleares.

Bomba atômica - Artefato nuclear explosivo que atinge seu efeito destrutivo através da energia liberada na quebra de átomos pesados (urânio 235 ou plutônio 239). Armas atômicas foram superadas pelas bombas termonucleares, que têm maior poder destrutivo. As bombas termonucleares (bomba H e bomba de nêutrons) agem por meio de ondas de pressão ou ondas térmicas. Produzem essencialmente radiação, mortal para os seres vivos, sem destruir bens materiais. São bombas de fusão detonadas por uma bomba atômica e podem ter o tamanho de um paralelepípedo.

Velocidade relativa - A relatividade também revoluciona a noção de velocidade. Ao demonstrar que todas as velocidades são relativas, explica que, apesar do movimento, nenhuma partícula poderia se deslocar a uma velocidade superior à da luz (299.792.458 metros por segundo). À medida que se aproximasse dessa velocidade, a energia e a massa da partícula também aumentariam, tomando cada vez mais difícil a aceleração.

Geometria espaço-tempo - Enquanto Newton descrevera a gravitação como uma queda, para Einstein é uma questão espacial. Quando um corpo está livre, isto é, sem influência de qualquer força, seus movimentos apenas exprimem a qualidade de espaço-tempo. A presença de um corpo em determinado local causa uma distorção no espaço próximo.

Espaço curvo - Um raio de luz proveniente de uma estrela distante parece sofrer uma alteração de trajetória ao passar perto do Sol. Isto não é causado por qualquer força de atração, diz Einstein. Em função da enorme massa do Sol, o espaço a sua volta está deformado. É como se ele estivesse "afundado". O raio apenas acompanha esta curvatura, mas segue sua rota natural. E se a matéria encurva o espaço, é possível admitir que todo o Universo é curvo. A confirmação experimental do espaço curvo só acontece em 1987, com a observação de galáxias muito distantes.

Albert Einstein (1879-1955) nasce em Ulm, Alemanha, em 1879. Chega a ser considerado deficiente mental porque até 4 anos não fala fluentemente. Durante o secundário, é considerado pelos professores um

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

estudante medíocre. Mas, fora da escola, Einstein mostra desde jovem interesse pela matemática. Começa seus estudos de matemática e Física na Alemanha e depois assume nacionalidade suíça. Em 1921 recebe o prêmio Nobel. No apogeu do nazismo vai para os EUA e se naturaliza norte-americano. Depois da 2^a guerra, passa a defender o controle internacional de armas nucleares. Morre em Princeton, EUA.

PARTÍCULAS SUBATÔMICAS

A história das partículas que compõem o átomo é bastante recente. Só em 1932 confirma-se que os átomos são formados por nêutrons, prótons e elétrons. Em seguida são encontradas partículas ainda menores como o pósitron, o neutrino e o méson - uma partícula internuclear de vida curtíssima (um décimo milésimo milionésimo de segundo).

Quarks e léptons - Hoje já se conhecem 12 tipos de partículas elementares. Elas são classificadas em duas famílias: quarks e léptons. Estes são os tijolos da matéria. Há seis gerações de partículas quark e seis de léptons. A primeira geração de quarks é a dos up e down (alto e baixo), que formam, por exemplo, os nêutrons e os prótons.

Os quarks de segunda e terceira geração, os charm e strange (charme e estranho) e os bottom e top (base e topo), existiram em abundância no início do Universo. Hoje, são partículas muito raras e só recentemente foram identificadas. O quark top foi detectado pela primeira vez em abril do ano passado. Os mésons também são formados por quarks. A família dos léptons reúne gerações de partículas mais leves. Entre eles, os mais conhecidos são o elétron e o neutrino.

O tamanho do átomo - O diâmetro de um átomo é de aproximadamente 10^{-10} m, ou um centésimo milionésimo de centímetro. Se uma laranja fosse ampliada até ter o tamanho da Terra, seus átomos teriam o tamanho de cerejas. Uma proporção semelhante é a que existe entre o átomo e o núcleo dele. Se um átomo pudesse ser ampliado e ter o tamanho de uma sala de aula, ainda assim o núcleo não seria visível a olho nu.

Estudo do núcleo - Apesar de todo avanço tecnológico, nunca foi possível ver o interior do átomo. Para descobrir características e propriedades das partículas, os físicos usam métodos indiretos de observação. Bombardeiam núcleos atômicos e depois verificam os "estragos". Registram as ocorrências e fazem curvas de comportamento. Depois fazem abstrações matemáticas (modelos) que serão testados para confirmação.

Professor Luiz Carlos de Lima
luizlima@cbpf.br

Aceleradores de partículas - Os aceleradores são os aparelhos desenvolvidos para "olhar" o núcleo atômico. São eles que fornecem altas doses de energia para que partículas possam romper o campo de força que envolve o núcleo e atingi-lo. Essas partículas podem ser elétrons, prótons, antiprótons. Em grandes anéis circulares ou túneis, as partículas são aceleradas em direção oposta e produzem milhares de colisões por segundo. Um detector registra o rastro das partículas que resultam de cada choque e um computador seleciona as colisões a serem analisadas.

TENDÊNCIAS ATUAIS

A fusão nuclear controlada e a Física dos primeiros instantes do Universo são atualmente os campos mais desafiantes da física.

Fusão Nuclear Controlada - A fusão nuclear é um processo de produção de energia a partir do núcleo do átomo. Este fenômeno ocorre naturalmente no interior do Sol e das estrelas. Núcleos leves como o do hidrogênio e seus isótopos - o deutério e o trítio - se fundem e criam elementos de um núcleo mais pesado, como o hélio. Neste processo, há uma enorme liberação de energia. Até hoje, só foi possível produzir energia nuclear pela fissão (quebra) do núcleo dos átomos. Esta "quebra" resulta em energia, mas libera resíduos radiativos e por isso não pode ser considerada uma fonte segura.

Combustível nuclear - Um dos desafios da Física atual é reproduzir o processo de fusão de maneira controlada e obter combustível nuclear. Será uma alternativa mais econômica e limpa. Pode ser obtida a partir de matéria-prima abundante (água) e sem efeitos poluidores (como o monóxido de carbono, resultante da queima de combustíveis, ou a radiação).

Deutério - O combustível para a fusão, o deutério, é um isótopo de hidrogênio abundante na água. Na fusão nuclear, uma única gota de deutério (obtida a partir de 4 litros de água comum) produziria energia equivalente à queima de 1.200 litros de petróleo.

Teoria do Campo Unificado - Neste campo, as teorias sobre a evolução do Universo a partir do seu momento inicial, o Big Bang (Grande Explosão), se encontra com as teorias das partículas elementares. A hipótese aceita hoje em dia é que, logo após o Big Bang, teria se formado uma espécie de "sopa" superquente de partículas básicas das quais se constitui toda a matéria e que, ao se resfriarem, teriam dado origem à matéria em seu estado atual. O grande desafio é estabelecer uma teoria do campo unificado que descreva a ação das forças fundamentais (gravitacionais, eletromagnéticas e nucleares) num único conjunto de equações ou a partir de um princípio geral, que seria a "força" presente no início dos tempos.

ESPECIALIZAÇÕES DA FÍSICA

Cosmologia e astroFísica - Tratam da natureza do universo físico, sua origem, evolução e possíveis extensões espaço-temporais.

Física atômica, molecular e de polímeros - Dedicam-se à descrição da estrutura e das propriedades de sistemas de muitos elétrons, como os átomos complexos, ou como moléculas e compostos orgânicos.

Física da matéria condensada e do estado sólido - Ocupa-se das propriedades gerais dos materiais, como cristais, vidros ou cerâmicas. Tem como subespecializações a Física de semicondutores e a Física de superfícies.

Física nuclear - Estuda a estrutura nuclear e os mecanismos de reação, emissão de radiatividade natural, de fissão e fusão nuclear.

Física dos plasmas - Estuda a matéria a centenas de milhares de graus ou mesmo a milhões de graus de temperatura, estado em que a estrutura atômica regular é desfeita em íons e elétrons ou em que ocorrem fusões nucleares, como no Sol e nas demais estrelas.

Física das partículas elementares - Trata dos constituintes fundamentais da matéria.

Física das radiações - Estuda os efeitos produzidos pela absorção da energia da radiação eletromagnética em geral ou da radiação ionizante em particular.

Gravitação e relatividade geral - Tratam das propriedades geométricas do espaço/tempo, como decorrentes das concentrações de massa no Universo.

Mecânica dos fluidos - Estuda as propriedades gerais e as leis de movimento dos gases e dos líquidos.

Óptica - Estuda propriedades e efeitos de fontes de luz (como os raios laser), de transmissores de luz (como as fibras ópticas) e de fenômenos e instrumentos ópticos (como o arco-íris e os microscópios).

CRONOLOGIA GERAL

Antiguidade

Os egípcios e mesopotâmios afirmam que a água, o ar e a terra são os elementos primários da natureza: os gregos acrescentam o fogo em 380 a.C.

Atomismo - **Cerca de 480 a.C.:** Leucipo de Mileto, e Demócrito, de Abdera, elaboraram a hipótese de a matéria ser constituída por átomos.

Hidrostatica - **250 a.C.:** Arquimedes, de Siracusa, formula o princípio de flutuação e das densidades relativas.

Mecânica - **Cerca de 335 a.C.:** Aristóteles formula modelo de cosmo cujo centro é a Terra, imóvel.

Óptica - **295 a.C.:** Eucilhes publica estudos de óptica.

Idade Moderna

Eletromagnetismo -

1600: o inglês William Gilbert publica De magnete, sobre eletricidade e magnetismo.

1745: o alemão Ewald Jürgen von Kleist inventa o capacitor elétrico - garrafa de Leyden.

1785: o francês Charles Augustin Coulomb enuncia a lei das forças eletrostáticas.

Mecânica - **1510:** o polonês Nicolau Copérnico publica Commentariolus e apresenta pela primeira vez os princípios do heliocentrismo.

1543: Copérnico publica Das revoluções dos corpos celestes.

1590: Galileu reúne em *De motu* experimentos sobre a queda livre de diversos tipos de corpos.

1592: no *Della scienza mechanica*. Galileu estuda problemas de levantamento de pesos.

1602: Galileu apresenta os primeiros enunciados para as leis de queda dos corpos e da oscilação. 1648: o italiano Evangelista Torricelli inventa o barômetro.

1654: Blaise Pascal, francês, prova a existência da pressão atmosférica e, juntamente com o francês Pierre de Fermat, formula a teoria das probabilidades, que o holandês Christiaan Huygens amplia em 1657.

1665: o Inglês Isaac Newton faz suas primeiras hipóteses sobre gravitação.

1676: o abade francês Edmé Mariotte enuncia a lei da compressibilidade dos gases.

1687: Newton publica *Philosophiae naturalis principia mathematica*, em que enuncia a lei da gravitação universal e resume suas descobertas.

1738: o suíço Daniel Bernoulli publica estudos sobre a pressão e a velocidade dos fluidos.

Óptica: **1648:** o holandês Willebrordus Snellius descobre a lei da refração da luz.

1671: o alemão Wilhem Leibniz propõe a existência do éter .

1676: o dinamarquês Olaus Römer descobre que a velocidade da luz é finita.

1678: Huygens descobre a polarização da luz.

1690: Huygens formula a teoria ondulatória da luz.

Termodinâmica - **1761:** o inglês Joseph Black cria a calorimetria, o estudo quantitativo do calor.

1784: os franceses Antoine Lavoiser e Pierre Laplace inventam o calorímetro de gelo.

Idade Contemporânea

Eletromagnetismo

1811: o inglês Humphry Davy inventa o arco elétrico.

1819: o francês Augustin Fresnel desenvolve a teoria ondulatória da luz.

1820: o francês André-Marie Ampère formula leis da eletrodinâmica.

- * Laplace calcula a força eletromagnética.
- * Os franceses Jean-Baptiste Biot e Félix Savart medem a indução criada por uma corrente.
- * Oersted descreve o desvio produzido pelas correntes elétricas sobre a agulha da bússola..
- 1821:** o inglês Michael Faraday descobre os fundamentos da indução eletromagnética.
- 1827:** o alemão Georg Ohm formula a lei que relaciona o potencial, a resistência e a corrente elétrica.
- 1831:** Faraday descobre a indução eletromagnética.
- * James Maxwell afirma o caráter eletromagnético da luz.
- 1833:** o russo Heinrich Lenz determina a lei de sentido das correntes induzidas.
- 1834:** Faraday formula as leis da eletrólise. Wheatstone descobre o processo para medir a velocidade de uma carga elétrica num campo condutor.
- 1839:** o francês Antoine Becquerel descobre a célula fotovoltaica.
- 1846:** o alemão Ernest Weber constrói o primeiro eletrodinamômetro, para medir a força de atração entre cargas elétricas.
- 1851:** o alemão Franz Ernst Neumann formula a lei da indução eletromagnética.
- 1855:** o francês Leon Foucault descobre as corrente induzidas nos condutores metálicos.
- 1865:** o inglês James Clerk Maxwell expõe a teoria eletromagnética da luz.
- 1880:** James Wimshurt, inglês inventa o gerador eletrostático.
- 1881:** o inglês James Alfred Ewing e o alemão Emil Warburg descobrem a histerese magnética (campo residual de um objeto ferromagnético).
- 1884:** o americano Thomas Edison faz a primeira válvula eletrônica.
- 1887:** o alemão Heirich Rudolf Hertz descobre o efeito fotoelétrico.
- 1888:** trabalhando separadamente, Hertz e Oliver Lodge estabelecem que as ondas de rádio pertencem à mesma família das ondas de luz.
- 1895:** Jean-Baptiste Perrin, francês demonstra que os raios catódicos transportam eletricidade negativa. * O alemão Wilhelm Röntgen descobre os raios X.

1896: Ernest Rutherford, da Nova Zelândia, descobre o processo de detecção magnética das ondas eletromagnéticas.

1902: Oliver Heaviside, inglês afirma existir uma camada atmosférica que favorece a refração das ondas de rádio.

1910: a polonesa Marie Sklodowska Curie publica o *Traité sur la radiographie*, em que sintetiza as pesquisas feitas com seu marido, Pierre Curie, e com seu aluno Langevin.

1913: o alemão Johannes Stark descobre a ação do campo elétrico sobre a luz .

1923: o americano Louis Bauer analisa o campo magnético da Terra.

1932: o americano Robert van de Graeff constrói a primeira máquina eletrostática.

1948: os americanos John Bardeen, Walter Brattain e William Shokley formulam a teoria do transistor e constroem os primeiros modelos.

1955: o Instituto de Tecnologia de Massachusetts(MIT), EUA produz as primeiras ondas de frequência ultra-rápida.

1905: Lee de Forest, americano, inventa o tríodo, a válvula eletrônica de três elementos.

1986: Bednorz e K.A. Müller produzem um supercondutor a "alta" temperatura (material que, sob temperaturas baixas, mas não tão baixas como as dos supercondutores puros, apresenta resistividade elétrica nula).

Física de partículas

1895: o holandês Hendrik Lorentz desenvolve um modelo atômico que permite explicar a estrutura fina dos espectros atômicos.

1911: o americano Robert Millikan mede a carga do elétron.

1912: o escocês Charles Wilson torna visíveis os caminhos de partículas eletricamente carregadas em câmaras com gás ionizável.

1913: o dinamarquês Niels Bohr formula a teoria da estrutura atômica segundo a teoria quântica.

* O inglês James Frank e o alemão Gustav Hertz criam o conceito do nível de energia do elétron dentro do átomo.

1925: o americano Samuel Goldsmith e o dinamarquês George Uhlenbeck definem o spin do elétron.

1927: os americanos Thompson, Clinton Davisson e Lester Germer produzem a difração de elétrons.

1930: o holandês P.J. Debye usa os raios X para investigar a estrutura molecular.

1931: o americano Ernest Lawrence desenvolve o ciclotron, instrumento para a aceleração de partículas carregadas.

1932: os americanos Carl Anderson e Robert Milikan e o inglês James Chadwick descobrem o neutrino e o pósitron.

* O inglês John Cockcroft e o irlandês Ernest Walton constroem um acelerador de partículas.

1934: o japonês Hideki Yukawa formula a teoria da existência do méson.

1936: o americano Anderson e o alemão Neddermeyer observam na prática o méson.

1936: o italiano Enrico Fermi bombardeia elementos químicos pesados com nêutrons, produzindo elementos mais pesados que os existentes na natureza.

1983: o Centro de Pesquisas Nucleares de Genebra, na Suíça, descobre uma partícula (o bóson intermediário Z) que confirma a teoria da unificação da força eletromagnética e nuclear fraca.

Física Nuclear

1876: o inglês William Crookes usa pela primeira vez o termo "raio catódico".

1890: o francês Paul Villard identifica os raios gama.

* Ernest Rutherford e o inglês Frederick Soddy conceituam as famílias radiativas.

1896: o francês Henri Becquerel descobre a radiatividade. Rutherford descobre os raios alfa e beta produzidos nos átomos radiativos.

1899: os alemães Julius Elster e Hans Geitel determinam os períodos dos radio elementos.

1913: o alemão Hans Geiger inventa um aparelho elétrico para contar os raios alfa.

*Soddy cunha o termo "isótopo".

* O inglês Henry Moseley relaciona o número atômico de um elemento a seu espectro de raios X.

1919: o inglês Francis Aston aperfeiçoa o espectrógrafo de massa e define o fenômeno da isotopia.

1927: o austríaco Erwin Schrödinger aplica a mecânica ondulatória à teoria atômica.

1928: os alemães Hans Geiger e Walter Müller inventam o contador Geiger para medir a radiatividade.

1934: o casal francês Frédéric e Irène Joliot-Curie descobre a radiatividade artificial.

1938: os alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann descobrem a fissão nuclear.

1941: inicia-se nos EUA, o Projeto Manhattan, para a construção da bomba atômica.

1942: Fermi coordena, em Chicago, EUA, a construção do primeiro reator nuclear.

1945: a primeira bomba atômica é detonada pelos EUA em Alamogordo, Novo México, em 16/7.

* 6/8 os EUA lançam a bomba atômica sobre Hiroshima. *9/8, sobre Nagasáqui.

1952: os EUA explodem a primeira bomba de hidrogênio, no Oceano Pacífico, e no ano seguinte a URSS explode a sua.

1956: o Laboratório de Los Alamos, nos EUA, detecta o neutrino.

1967: a China explode sua primeira bomba de hidrogênio.

1982: na Universidade de Princeton, EUA, é realizada a primeira fusão nuclear controlada, por 5 segundos, a 100.000° C.

1988: Eric Storm testa com êxito um novo método de fusão atômica que gera polêmica no meio científico.

1989: o inglês Martin Fleishmann e o americano Stanley Pons afirma ter obtido fusão nuclear à temperatura ambiente (a fusão "a frio"). Logo depois, Fleishmann admite ter-se enganado.

Física Quântica

1901: o alemão Max Planck formula as leis da radiação do corpo negro, abrindo caminho para a teoria quântica.

1911: os americanos Gockel e Victor Hess descobrem os raios cósmicos.

1921: o indiano Megmed Saha desenvolve a equação de ionização térmica, aplicada à interpretação do espectro estelar.

1925: o austríaco Wolfgang Pauli enuncia o princípio quântico da exclusão.

1925: os alemães Werner Heisenberg e Ernst Jordan, o austríaco Erwin Schrödinger, o dinamarquês Niels Bohr e o inglês Paul Dirac formulam a nova teoria da mecânica quântica.

1926: Heisenberg reelabora a teoria quântica.

1927: o italiano Enrico Fermi dá uma interpretação estatística da mecânica quântica. *Heisenberg formula o princípio da incerteza, segundo o qual a posição e a velocidade das partículas não podem ser conhecidas ao mesmo tempo e com precisão.

1934: Fermi conclui que nêutrons e prótons são as mesmas partículas fundamentais, em estados quânticos diferentes.

1986: Ephraim Fishbach, americano, propõe a existência de uma quinta força, repulsiva - além das já conhecidas: forte, fraca, eletro-magnética e gravitacional.

1988: físicos do Laboratório Nacional de Los Alamos, nos EUA, afirmam ter comprovado a existência da quinta força.

Mecânica

1821 - o inglês Charles Wheatstone demonstra as condições de reprodução sonora.

1842: Christian Doppler, austríaco, formula as bases do efeito Doppler, utilizado na acústica e na astronomia.

1880: Philipp von Jolly, alemão, mede a variação do peso em relação à altitude.

1923: o francês Louis de Broglie estabelece uma correspondência entre onda e partícula e formula a mecânica ondulatória.

Óptica

1799: o alemão Friedrich Herschel descobre a existência dos raios infravermelhos.

1801: o inglês Thomas Young descobre as interferências luminosas. * O alemão Carl Ritter descobre o raio ultravioleta.

1811: o francês Augustin Fresnel faz pesquisas sobre a difração da luz.

1821: Fresnel efetua as primeiras medições de comprimento de onda elétrica.

1822: Fresnel aperfeiçoa as lentes usadas em faróis.

1849: o francês Armand Fizeau mede a velocidade da luz.

1852: o inglês George Stokes formula a lei da fluorescência, observando o efeito da luz ultravioleta sobre o quartzo.

1859: os alemães Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff desenvolvem a análise espectral, que fornece subsídios para químicos e astrônomos.

1887: os americanos Albert Michelson e Edward Williams Morley mostram a constância da velocidade da luz.

1901: o russo Piotr Liebedev prova experimentalmente a pressão da luz.

Relatividade

1905: Einstein formula os fundamentos da teoria da relatividade restrita, a lei da equivalência entre massa e energia, a teoria do movimento browniano e a teoria do efeito fotoelétrico.

1911: Albert Einstein e Langevin demonstram a inércia da energia. * Rutherford formula a estrutura atômica "planetária".

1916: Einstein publica seus estudos finais sobre a teoria geral da relatividade.

1918: o inglês Eddington confirma experimentalmente a relatividade geral de Einstein com a observação do eclipse solar de 1918.

1929: Einstein publica suas conclusões sobre a teoria do campo unificado.

1950: Albert Einstein expande a teoria da relatividade na teoria geral do campo.

1969: J. Weber, alemão, observa as ondas gravitacionais, postuladas por Einstein em 1916.

Termodinâmica

1819: os franceses Pierre Louis Dulong e Alexis Thérèse Petit estabelecem a lei que relaciona o peso atômico e a capacidade específica de calor de um elemento sólido.

1822: o dinamarquês Hans Oersted mede a compressibilidade dos sólidos.

1824: o francês Nicolas Sadi Carnot publica *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, que constituiria mais tarde a base da termodinâmica.

1843: o inglês James Joule determina a quantidade de trabalho mecânico necessária para produzir uma unidade de calor.

1847: o alemão Hermann von Helmholtz enuncia o princípio da conservação de energia.

1849: o inglês William Thomson (lord Kelvin) cria a escala termométrica absoluta.

1850: o alemão Rudolf Julius Emmanuel Clausius formula o segundo princípio da termodinâmica e a teoria cinética dos gases.

1851: Kelvin formula as leis da conservação e da dissipação da energia.

* O escocês William Rankine conceitua energia potencial e energia cinética.

1852: Kelvin descobre o resfriamento provocado pela expansão de gases.

1860: o inglês James Clerk Maxwell demonstra que a energia cinética das moléculas depende de sua temperatura.

1865: Clausius define a entropia.

1869: o austríaco Ludwig Boltzmann calcula a velocidade das moléculas.

1873: o holandês Johannes van der Waals descobre a continuidade dos estados líquido e gasoso.

1901: o alemão Walter Hermann Nernst postula a terceira lei da termodinâmica.

CRONOLOGIA BRASIL

1934: a Universidade de São Paulo (USP) implanta seu primeiro grupo de pesquisa, com Marcelo Dami de Souza Santos, Mário Schenberg e Paulus Aulus Pompéia, orientados por Gleb Wataguin.

1944: Joaquim Costa Ribeiro descobre o efeito termodielétrico, conhecido por efeito Costa Ribeiro.

1947: César Lattes participa da descoberta do méson.

1951: fundado o Instituto de Física Teórica, em São Paulo.

* Criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear, no Rio de Janeiro.

1953: fundado o Instituto de Pesquisas Radiativas, em Minas Gerais.

1954: Mário Schenberg descobre um processo de perda de energia de estrelas, por emissão de neutrinos -efeito Urca.

1957: criado o Instituto de Energia Atômica de São Paulo.

1958: instalado na USP, em São Paulo, o primeiro reator nuclear da América Latina.

1959: Jacques Danon e Argus Henrique Moreira projetam novo acelerador de partículas.

1967: César Lattes comprova sua descoberta da "bola de fogo" dentro do núcleo atômico, estágio intermediário na formação de novas partículas.

1968: criada a Sociedade Brasileira de Física.

* Instalado em Piracicaba, SP, o Centro de Energia Nuclear na agricultura,

1974: assinado o Acordo Nuclear Brasil/Alemanha, contra o qual se manifestam os físicos brasileiros. 1983: inaugurada a usina nuclear Angra I, em Angra dos Reis, RJ. 1989: entra em funcionamento, em Campinas, SP, o maior acelerador de partículas do país.