

Notas de aulas do Prof. Mario
Schenberg (1966)

A ciência é um produto da vida social. É errado pensar que a ciência seja simplesmente da natureza. Ela é sobretudo um instrumento para o homem, para o homem compreender a natureza. Como diz Weizsacker: "a natureza existe antes do homem mas o homem existe antes da física".

A história da ciência é uma parte da história geral e não pode ser estudada isoladamente. As várias ciências são, por sua vez, relacionadas. O desenvolvimento da física esteve notoriamente relacionado com o da matemática, química e astronomia e talvez num futuro próximo estará com a da biologia. Os próprios métodos probabilísticos e estatísticos, que surgiram ligados às ciências sociais (e aos jogos de azar) acabou, bem mais tarde, sendo indispensável à física.

A teoria de informação, mais propriamente linguística e social, já está sendo usada na física e deverá futuramente ter ainda maior importância.

O relacionamento da física com a tecnologia já é fato comum. Como exemplos:-

1) a física do Estado Sólido deve muito de sua evolução aos laboratórios de empresas industriais.

2) a termodinâmica surgiu do problema tecnológico do aproveitamento de calor (Carnot).

3) Certas consequências de eletro-dinâmica quântica só puderam ser verificadas por meio de técnicas de microondas, desenvolvidas para fins tecnológicos e militares.

Outro aspecto importante é a correlação entre a ciência e a cosmo-visão de cada época. Preconceitos científicos que se estabelecem em determinadas épocas, dificilmente são renovados. Pasteur, por exemplo, teve muita dificuldade para derrubar a idéia de geração espontânea. Hoje o preconceito se inverteu e está difícil se convencer as pessoas da possibilidade de se criar vida por síntese a partir de matéria inorgânica.

A teoria evolucionista, por preconceitos religiosos, chegou a ter sua divulgação proibida no século passado e mesmo até recentemente em alguns estados dos EEUU.

Galileu foi perseguido devido a sua teoria que contrariava o modelo geocêntrico então adotado pela Igreja Católica.

O desenvolvimento da ciência está condicionado a fatores sociais imediatos como interesse (ou desinteresse) estatal, militar ou não, pela pesquisa. Outros fatores podem ainda ser importantes como as condições econômicas e ideológicas. A Idade Média é um exemplo da época pouco favorável a ciência, devido a esses fatores.

Após o renascimento, o fortalecimento da burguesia (classe de origem urbana surgida durante a Idade Média) propicia o desenvolvimento científico. Os proprietários feudais, ou a Igreja, não tinham qualquer interesse pela ciência. Quando a burguesia começou a ter influência e sobretudo depois que se tornou a classe dominante (na Inglaterra desde o séc. XVII e na França depois da revolução Francesa e na Alemanha no séc. XIX) é que a pesquisa passou a despertar maior interesse.

A revolução industrial, (surgimento da máquina a vapor, estradas de ferro, teares mecânicos, etc.) determinou uma mudança profunda nas condições sociais. Para ter uma idéia do atraso tecnológico da época que a precedeu, basta lembrar que no fim do século XVIII se levava tanto tempo para ir de Roma a Paris como no Império Romano já que o cavalo continuava sendo o meio de transporte mais rápido.

Na renascença, primeiro se procurou retomar o desenvolvimento científico do mundo antigo (grego-romano). Mesmo no período helênístico já se haviam feito progressos notáveis no domínio da matemática, da astronomia e de alguns ramos da física.

Eudócio de Cnido já tinha de certa forma lançado as bases do cálculo integral (determinação de áreas pelo método de exaustão) e das grandezas incomensuráveis (contida na geometria de Euclides porém geralmente incompreendida). O cálculo integral só foi retomado no século XVII e a teoria dos números incomensuráveis só no século XIX por Dedekind e Cantor. Em Alexandria, Heron já conhecera os rudimentos da máquina a vapor, também haviam sido descobertos, no essencial, as leis da estática dos sólidos e algumas leis de hidrostática (Arquimedes). Eram também conhecidas as leis da reflexão da luz. Os conhecimentos astronômicos da Grécia foram também bastante grandes. Eram também conhecidas as leis da reflexão da luz. Os conhecimentos astronômicos da Grécia foram também bastante importantes.

Após a Renascença o nível dos conhecimentos científicos superou rapidamente o da antiga ciência grega.

A astronomia foi um campo de grande evolução nessa época

ex que viveram Copérnico, Kepler e Galileu.

A grande descoberta de Copérnico não foi essencialmente o heliocentrismo, mas sim a existência de referenciais inerciais, para os quais as leis da mecânica se tornam mais simples (tomando o sol como sistema de referência, fica bem mais simples a lei de movimento dos planetas: "O sol é mais inercial que a Terra").

A dinâmica de Aristóteles (que se baseava no bom senso) tentava essencialmente a força como proporcional à velocidade. Retirada a força, cessaria o movimento: mas já naquele tempo isso causava problemas, por exemplo, uma flecha prossegue em sua trajetória após deixar o arco. Dizia-se então que o ar impelia a flecha, mas sempre houve quem discordasse disto.

No fim da Idade Média, quando o desenvolvimento urbano e a nascente influência da burguesia (classe urbana por excelência) fez surgir universidades, como as de Paris, Bolonha e Oxford, aqueles problemas foram novamente discutidos e surgiu a teoria de impetus, genes da futura mecânica. O papel da Aceleração contudo, só foi compreendido mais claramente por Galileu e ainda assim surgiram problemas matemáticos devidos à difícil visualização de uma derivada segunda.

A matemática recebeu durante a Idade Média importantes contribuições na Ásia. O primeiro tratado de álgebra foi escrito na Índia, onde pela primeira vez, se introduziu o zero como número (talvez mais compreensível para um budista à procura de Nirvana que para um filósofo grego...) Aliás os próprios babilônios já tinham certos conhecimentos de álgebra que empregaram nos cálculos astronômicos.

Entretanto para a mecânica era indispensável um novo tipo de matemática (cálculo diferencial). O cálculo diferencial surgiu ligado à geometria (problemas das tangentes e curvas) e a cinemática (velocidades e aceleração). A sua criação (em geral atribuída a Newton) parece ser na realidade, devida a Barrow, professor de Newton. Barrow chegou mesmo a relacionar a integral (conceito "Extensivo" à derivada (conceito cinemático) sendo a integral uma espécie de anti-derivada. A formulação mais geral foi feita por Newton e Leibnitz. As leis da mecânica de Newton representam uma generalização da descoberta de Galileu e outros, portanto, no fim do século XVII já estavam lançadas as bases da mecânica. Estava também definido o ideal científico que passou a reger a física: explicar todos os fenômenos físicos pelo movimento de partículas materiais no espaço. Newton admitira a existência de um tempo absoluto e de um espaço absoluto independentes da matéria.

Leibnitz não aceitava os conceitos newtonianos de espaço e

tempo, achava que espaço e tempo eram propriedades de ordenamento respectivamente sincrônicos e diacrônicos, em linguagem contemporânea - (isto é, relações de simultaneidade e relações de sucessão). Os Newtonianos replicavam afirmando que meras relações de ordem não poderiam dar em propriedades extensivas numéricas. Mais tarde, Poncelet (sec. XIX) mostrou, na sua construção da geometria projetiva, que meras relações de posição sem idéias de extensão poderiam dar valores numéricos (coordenadas projetivas).

Os atomistas gregos (Leucipo e Demócrito) viam o mundo como composto de "átomos" que se moviam no vazio. Esta teoria em geral não prevaleceu na Grécia porque pareceria filosoficamente inaceitável que o vazio (o não ser) pudesse ter existência como o ser dos átomos.

Aristóteles por exemplo, não falava em espaço, simplesmente espaço para ele era uma propriedade do corpo.

Esta teoria (espaço e tempo absolutos, etc.) contudo, ainda que filosoficamente insatisfatória, teve uma grande utilidade prática. Os cálculos de Newton davam previsões rigorosas de fenômenos astronômicos como o movimento dos planetas e períodos de eclipses. A criação de uma teoria capaz de uma previsão rigorosa dos fenômenos naturais causou um enorme impacto intelectual na cultura européia. É interessante notar que mesmo no século XVII um matemático e físico da estatura de um Pascal duvidava ainda de um determinismo de fenômenos naturais. Talvez por isso, Pascal tenha sido um dos criadores do cálculo das probabilidades.

É interessante, ainda lembrar que o determinismo das leis de Newton estava de acordo com as concepções teológicas da época. No mundo protestante onde a influência de predestinação calvinista se tornara poderosa, o determinismo foi facilmente aceito. Nas suas concepções de espaço, Newton sofreu também a influência das idéias religiosas e filosóficas de sua época: afirmou na sua obra fundamental que: o espaço é o sensorio de Deus. Isso indica as raízes da idéia de espaço absoluto que seria desligado da matéria mas constituído pelos órgãos sensoriais de Deus.

A formulação clássica do determinismo absoluto foi dada por Laplace, o famoso físico e astrônomo francês do século XVIII sendo por isto chamado de determinismo laplaciano. Laplace disse que uma inteligência superior que conhecesse as posições e as velocidades de todas as partículas materiais do universo num instante, assim como as suas leis de força e fosse capaz de resolver equações diferenciais de Newton correspondentes, poderia prever exatamente tudo o que iria acontecer em qualquer época.

O filósofo alemão Engels, na sua "Dialética da Natureza, ob

servou que o determinismo laplaciano não passava de uma nova forma do fatalismo islâmico.

Já o próprio Newton emitiu certas dúvidas quanto ao determinismo absoluto, nos seus estudos de ótica, em que já vislumbrava algumas idéias da mecânica quântica do século XX.

Newton, como se sabe, era partidário da teoria corpuscular da luz, quase que geralmente aceita na época, contudo, para explicar certos fenômenos óticos como a difração, já admitiu a possibilidade de um elemento ^{de acaso} de probabilidade no comportamento dos corpúsculos luminosos.

No século XVII, o físico holandês Huyghens já apresentara uma teoria ondulatória da luz em que os fenômenos óticos eram assimilados aos acústicos, como propagação de ondas luminosas. A teoria de Huygens não oferecia vantagens práticas naquela época em que os instrumentos matemáticos necessários para o estudo da propagação de ondas ainda não existiam. Uma diferença essencial entre as teorias ondulatórias e corpuscular da luz seria a previsão das velocidades de propagação da luz em meios com diferentes índices de refração. A teoria corpuscular de então exigia que os corpúsculos tivessem velocidade maior em meios com maior índice de refração, ao passo que a ondulatória exigia o decréscimo dessa velocidade como o aumento do índice de refração.

Na época não era possível determinar a velocidade da luz na terra, mas no século XIX isto foi feito e a previsão da teoria ondulatória foi confirmada.

Veremos, porém, que no século XX Einstein ressucitou a concepção corpuscular sem, de resto, eliminar a ondulatória, criando a famosa dualidade onda-corpúsculo da mecânica dos quanta.

A dificuldade relativa à velocidade de propagação dos corpúsculos luminosos pôde ser resolvida com a aplicação da teoria da relatividade, assim, paradoxalmente, tanto Newton quanto Huyghens tinham razão.

No século XVIII foi iniciado o desenvolvimento da teoria dos derivadões parciais (Equação de D'Alembert, Eq. de Laplace, etc) o que permitiu a formulação das leis da hidrodinâmica dos fluídos perfeitos (sem viscosidade). Em particular, o fenômeno da propagação de ondas sonoras pôde ser tratado em forma de matemática mais satisfatória.

No estudo do calor, a introdução do conceito de temperatura tinha sido bastante clara porque se relaciona com nossa experiência quotidiana de corpos mais frios ou mais quentes (parece até que os chineses, há bastante tempo, já haviam inventado uma espécie de

termômetro). Outro conceito importante e mais sutil na teoria do calor é o da quantidade de calor ligado às medidas calorimétricas que foram introduzidos no século XVIII. Naquela época o calor era considerado como um fluido especial, o calórico. A quantidade de calor contida num corpo seria o seu conteúdo de fluido calórico. No século XVIII havia uma tendência a se utilizar grande número de fluidos hipotéticos como os fluidos elétricos, os fluidos magnéticos e o famoso flogístico da química. No fim do século XVIII a existência do calórico começou a ser posta em dúvida. Rumford trabalhando em perfuração de canhões ficou impressionado pela quantidade aparentemente ilimitada de calor que se desprendia durante a perfuração do tubo e sugeriu que esse calor fosse realmente produzido pelo trabalho mecânico de perfuração.

Uma das maiores realizações da física do século XIX foi o desenvolvimento da termodinâmica, que culminaria com a criação da mecânica estatística e abriria o caminho para a descoberta da teoria dos quânticos por Planck em 1900.

A primeira lei fundamental a ser descoberta foi o 2º princípio da termodinâmica chamado de princípio de Carnot (descoberto pelo físico francês Sadi Carnot que estava muito interessado nos problemas suscitados pela máquina a vapor (surgida na segunda metade do século XVIII)).

Posteriormente se descobriu nos papéis póstumos de Carnot o enunciado do 1º princípio da termodinâmica que não fora publicado em sua vida.

De grande importância foi também, a descoberta da equação da condutibilidade do calor pelo físico francês Fourier, foi o primeiro caso de uma equação do tipo parabólico, que descreve fenômenos irreversíveis. Só mais tarde, no século XX é que se iria compreender que estas equações parabólicas estão ligadas aos chamados processos estocásticos.

O primeiro princípio da termodinâmica (equivalência entre trabalho e calor) após ser descoberto por Carnot foi redescoberto pelo médico alemão Robert Meyer, que o publicou. Contudo, sua descoberta foi mal recebida e ele ficou profundamente deprimido, tendo mesmo enlouquecido. Posteriormente esta equivalência foi estabelecida experimentalmente pelas famosas experiências de Joule.

Em meados do século XIX, Helmholtz, famoso físico alemão, chegou a uma concepção mais geral da conservação da energia, não apenas das formas mecânicas ou térmicas mas de outras também.

O conteúdo mais profundo do princípio de Carnot foi posto em evidência pelo físico alemão Clausius.

Ele mostrou que do princípio de Carnot resultava a existência de uma função de estado do corpo que se denominava entropia. A entropia de um corpo isolado tende a crescer. Daí, foi sendo compreendida a verdadeira natureza do 2º princípio da termodinâmica como uma espécie de lei da degradação da energia.

A descoberta da entropia tornou possível o desenvolvimento de uma teoria do equilíbrio termodinâmico que foi também aplicada às reações químicas por Planck, Gibbs e outros.

Esse constitui o primeiro grande sucesso da física em explicar algumas propriedades de reações químicas.

Nesse mesmo período a teoria do calor teve outro progresso decisivo ligado a teoria cinética dos gases. Já no século XVIII Daniel Bernoulli desenvolveu esta teoria e chegou a provar a lei de Boyle-Mariotte.

Era razoável se admitir uma relação entre a temperatura e a velocidade (ou energia cinética) das partículas, devido ao acréscimo da pressão (a volume constante) com o aumento da temperatura. Daí surgiu a idéia de que calor era simplesmente energia de agitação das moléculas. Isto dava pois prosseguimento ao programa "atomista" de reduzir as leis físicas ao conhecimento do movimento de partículas no espaço.

O caráter caótico do movimento implicava na impossibilidade de se transformar toda a energia do movimento (desordenado) em trabalho (ordenado). Daí surge a idéia de que a entropia estaria ligada a esse problema.

A mecânica estatística inaugurou uma nova época na física com "certo desvio filosófico" uma vez que se introduziam leis probabilísticas. A entropia nesse esquema seria a medida da desordem do sistema.

Boltzman distinguia estado macroscópico de estado microscópico do sistema. Vários estados microscópicos corresponderiam a um mesmo estado macroscópico (idéia totalmente inaceitável hoje, e o erro está na distinguibilidade das moléculas admitida por Boltzman). O número de estados microscópicos que resultam num mesmo estado macroscópico era a probabilidade do estado macroscópico (P).

A entropia teria então a forma:

$$S = K \log P$$

Aplicada ao estudo dos fenômenos irreversíveis (como troca de calor, difusão, etc.)

A equação acima não é exata valendo só aproximadamente.

Se se fizerem os cálculos a partir das leis da mecânica, a caba-se por negar o acréscimo absoluto da entropia (S). Para aperfeiçoar essa teoria foi preciso introduzir novos conceitos probabilísticos.

2ª AULA

Como vimos, a teoria do equilíbrio termodinâmico foi utilizada pela química para o equilíbrio químico. A termodinâmica iniciou o importante processo de "fiscalização" da química. A química mostrou-se bastante rebelde à redução do estudo do movimento da matéria.

Posteriormente, os resultados (ligações químicas, etc), obtidos por meio da mecânica quântica, acabou com a resistência e completou de certa forma esta "fiscalização".

Newton dedicou grande parte de sua vida à química (fato pouco conhecido). A saturação das forças químicas, por exemplo, é um fato que violava as leis de Newton. Realmente, este problema está ligado à mecânica quântica e é curioso que Newton já o tinha sentido.

Atualmente tem-se dado importantes "fiscalizações", como a da biologia (código genético, biologia molecular, etc.). O próprio pensamento está sendo estudado por um prisma físico na neuro-fisiologia, tendo sido a cibernética de grande valia neste problema.

No fim do século passado, um problema de equilíbrio entre matéria e radiação (problema do corpo negro) foi profundamente estudado. Tomando o corpo negro como uma cavidade cheia de radiação eletromagnética, o problema é levado a um paradoxo. O princípio de equipartição da energia exigia que todas as frequências de radiação mantivessem a mesma intensidade a qualquer temperatura. (Isto é falso mesmo na experiência quotidiana, onde se sabe que a cor de uma chama ou de um metal aquecido está ligada à temperatura e varia com ela). A comparação entre teoria e experiência levava à paradoxal conclusão de que a matéria interagia com um sistema de infinitos graus de liberdade (radiação).

Planck obteve uma fórmula empírica (numa espécie de interpolação entre as leis de Wien e de Rayleigh-Jeans).

O resultado era coincidente com os dados da experiência, contudo, implicava no fato da energia só poder tomar determinados valores. Só a introdução do conceito dos quanta de energia por Planck conseguiu justificar o problema teoricamente.

Outro ramo da física com grande desenvolvimento no século

XIX foi o eletromagnetismo de origem "humilde" (eletricidade do âmbar e magnetismo de minerais ferrosos), foi fortemente impulsionada com o surgimento da pilha de Volta e as descobertas de Oersted e Ampère (indução eletromagnética).

As equações de Maxwell que surgiram após (e devido) a estas descobertas, constituíram uma formulação geral para o tratamento dos fenômenos eletromagnéticos e a síntese da ótica com o eletromagnetismo (ondas eletromagnéticas).

No fim do século passado já se descobriu o caráter corpuscular da eletricidade e Lorentz desenvolveu o tratamento matemático para os corpúsculos de eletricidade (elétrons).

Havia, contudo, uma lacuna a ser preenchida: a ligação entre os fenômenos mecânicos e eletromagnéticos.

Acreditava-se, então, que as ondas eletromagnéticas se propagassem num meio material especial ("éter") e a análise mecânica das ondas era feita levando-se em consideração este meio.

Este meio mostrou-se, contudo, indetectável (Experiência de Michelson Morley).

O problema surgido com esta experiência foi resolvido por Lorentz, Poincaré e Einstein. Só Einstein, contudo, resolveu-o totalmente.

As leis da mecânica e as do eletromagnetismo eram invariantes por grupos diferentes (grupo de Galileu e grupo de Lorentz). Einstein achou que, como as leis do eletromagnetismo tinham sido mais precisamente verificadas, as leis da mecânica é que deveriam ser alteradas, de forma a se tornarem invariantes pelo grupo de Lorentz.

A modificação proposta por Einstein foi extremamente ousada, pois derruba o conceito de espaço e tempo absolutos e os substitui por um espaço-tempo com as simetrias do grupo de Lorentz e não mais das de Galileu.

Einstein mostrou a relação entre a modificação do espaço-tempo e a alteração do conceito de simultaneidade, até então tida como absoluta. Se fosse possível existir um corpo absolutamente rígido, o deslocamento de um de seus extremos corresponderia a um deslocamento instantâneo do outro (propagação de sinal com velocidade infinita). Todavia ele demonstrou que há um limite para propagação de sinais (velocidade da luz).

A introdução por Lorentz do conceito de campo foi um passo extremamente importante (parcialmente desfeito pela mecânica quântica).

Lorentz mostrou que o campo eletromagnético não estava na matéria, como se acreditava, mas sim no espaço (que, diga-se de passa

gem, era para Lorentz uma espécie de matéria, o "éter"). A inércia do campo ficava então ligada mais aos vetores \vec{E} e \vec{H} que às cargas materiais.

Posteriormente, (séc.XX), a teoria dos quanta introduziu modificações neste modelo. Retornou à concepção corpuscular, pois para a teoria quântica o campo se constitui de partículas (fotons).

A ótica ondulatória (ainda no séc.XIX) levou vantagem sobre a teoria corpuscular da luz com a importante descoberta, por Young, da interferência luminosa, tratada posteriormente por Fresnel. Considerou-se então, liquidada a teoria corpuscular, quando Fizeau conseguiu medir a velocidade da luz nos meios materiais e estas medidas foram compatíveis com a ótica ondulatória. Mais tarde a teoria corpuscular foi reabilitada pela mecânica quântica. Só o efeito foto-elétrico, tratado por Einstein mostrou de fato o carácter corpuscular da luz.

Na ótica ondulatória, a luz em um tipo de onda especial, vibrações elásticas transversais de um meio material. Faraday, que já possuía intuitivamente o conceito de campo obteve um resultado experimental importantíssimo: conseguiu mudar o plano de polarização de um feixe de luz por aplicação de um campo eletromagnético, mostrando o carácter eletromagnético da luz. As equações de Maxwell mostram claramente esta relação.

A ótica corpuscular, antes de ter sido sobrepujada no século XIX, deu uma grande contribuição para a mecânica: os princípios variacionais (Lagrange, Hamilton) surgidos por comparação da ótica geométrica com a ótica física, corpúsculos mecânicos e luminosos deviam ter propriedades comuns e por exemplo a equação de Hamilton - Jacobi surgiu totalmente desta analogia.

Ótica geométrica - Mecânica de Newton

Ótica física - Fórmula de Hamilton

(ondulatória)

Já no século XVIII se tinha proposto a equação de hidrodinâmica (Euler, etc). No século XIX o físico francês Navier formulou a equação também para fluídos viscosos.

Helmholtz desenvolveu a teoria dos turbilhões. Neste mesmo século Christoffel e outros desenvolveram a teoria das ondas de choque, que se tornaram importantes no século XX com o advento da aviação.

Também no século XIX desenvolveu-se a cristalografia com a estrutura reticular dos cristais e a determinação da estrutura fundamental dos sólidos.

As propriedades eletromagnéticas dos sólidos tiveram como pioneiro em sua pesquisa, Pierre Curie.

Todos estes fatos acabaram sendo de enorme importância para a tecnologia. O transistor, por exemplo, uma notável conquista da física do estado sólido, alterou bastante o panorama social do mundo com a miniaturização dos aparelhos da tele-recepção. Houve crescimento no século XIX das interações entre a física e a química. A química científica começou no século XVIII com a derrubada da teoria do flogístico por Lavoisier. A teoria cinética dos gases baseava-se na hipótese molecular que era reforçada por conceitos químicos. No começo do século XX o estudo do movimento Browniano por Einstein (1905), foi o argumento final favorável a esta hipótese.

No fim do século XIX e começo do século XX parecia já se saber tudo em relação à física.

Rayleigh disse que restavam uns poucos probleminhas a serem resolvidos em física... Acontece que entre estes probleminhas estavam a radiação do corpo negro e a experiência de Michelsen-Morley que acabaram por transformar toda a física (mecânica quântica e relatividade de Einstein).

A nova física do século XX trata de problemas que nem sequer eram imaginados no século XIX, como o estudo da forma do espaço, o das partículas elementares, etc.

Foi também no século XIX que se desenvolveu a física-matemática clássica: equações e derivadas parciais, desenvolvimento em séries de funções ortogonais, etc.

O cálculo das variações, que nasceu praticamente junto com o cálculo infinitesimal (problema da braquistócrona), resultou na chamada análise funcional mais profundamente estudada no século XX. Ainda no século XIX surgiu a teoria dos grupos e de especial importância, a teoria dos grupos contínuos.

A revolução industrial que começou no século XVIII teve grande impulso no século XIX. Um exemplo da importância da física neste desenvolvimento, é a descoberta da indução eletromagnética por Faraday, que acabou resultando na invenção dos motores elétricos que deram grande impulso ao desenvolvimento industrial.

Outro exemplo é o das ondas hertzianas (descoberta teórica de Maxwell, confirmada por Hertz, 20 anos depois), os quais foram utilizados por Marconi e outros para aplicações práticas nas telecomunicações.

A utilização da energia nuclear é um exemplo mais atual da contribuição da física à tecnologia. É interessante lembrar que desde que o homem surgiu sobre a terra, ele se utilizou da energia nuclear,

pois a energia solar não é de outra natureza...

3ª AULA

Na passagem do século passado para o atual, um fato muito importante foi a descoberta da radioatividade, fenômeno de tipo nuclear, aliás o primeiro fenômeno ligado diretamente ao núcleo atômico. É, além disto muito importante, porque fornece partículas (prótons e elétrons) utilizados para a pesquisa de propriedades do átomo (experiência de Rutherford).

Na mesma época como já citamos, Planck descobriu a fórmula para a radiação do corpo negro (quantização). Um tratamento mais completo do fenômeno foi feito depois por Einstein.

Surgiu ainda (1905), a teoria da Relatividade (Einstein), teoria para que contribuíram Poincaré e Lorentz independentemente.

No mesmo ano (1905), Einstein publicou outro trabalho sobre teoria quântica (efeito fotoelétrico), trabalho em que Einstein descobriu a dualidade onda-corpusculo, um dos aspectos mais fundamentais da teoria quântica.

Vê-se, então, que logo no começo do século, surgiram três descobertas fundamentais.

Einstein fez também estudos sobre o movimento Browniano, como já dissemos, sendo ele um dos criadores da mecânica estatística.

O estudo de Einstein sobre o movimento Browniano deu uma prova irrefutável (direta) da hipótese molecular que estava sendo rejeitada, por certos cientistas (Ostwald, Durheim, etc), à testa de um movimento de carácter cientificamente reacionário (Energética).

Outro trabalho de grande importância de Einstein foi o Efeito Fotoelétrico. Para a energia cinética dos elétrons avançados por incidência da luz sobre metais. A lei obtida foi $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - \phi$ onde h é a constante de Planck e ν a frequência da luz.

A energia ainda se comportava como se fosse entregue em "grãos" aos elétrons arrancados (Os elétrons saíam instantaneamente).

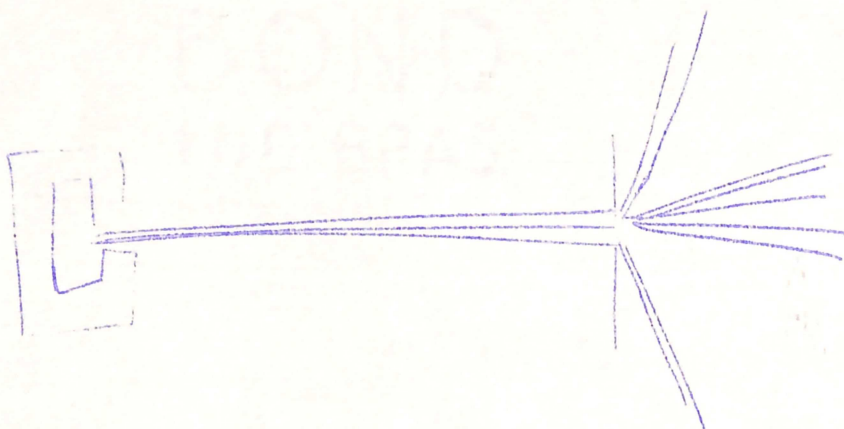
Neste mesmo trabalho Einstein estudou as reações fotoquímicas (fotografia, etc.).

É interessante notar que o descoramento gradual (por exemplo), de uma superfície pigmentada já evidencia a quantização de energia. Pois supondo-se que as moléculas de pigmento, são todas iguais, a energia atinge a superfície de forma contínua, ou todas as moléculas se modificam, ou nenhuma se modifica. Daí não poderia ser gradual o descoramento.

O estudo da radioatividade surgiu da descoberta de Becquerel -

rel da radioatividade do urânio. Deve-se a Pierre e Marie Curie, a descoberta de outros elementos radioativos.

Rutherford, utilizando partículas oriundas de um núcleo radioativo e incidindo sobre uma folha fina de ouro, notou desvios ora bem pequenos, ora muito grandes.



Estes desvios grandes não podiam ser explicados pelo modelo de Thomson (carga positiva espalhada).

A força deveria ser milhões de vezes maior que a dada pelos cálculos com o átomo de Thomson. Isto deu origem ao átomo nuclear de Rutherford.

É devido a Einstein um tratamento do calor específico dos sólidos, onde ele percebeu que o problema era análogo ao do corpo negro.

No corpo negro, por exemplo, o problema está na não obtenção de equilíbrio termodinâmico, uma vez que quando as ondas se chocam na parede de uma cavidade, tendem a se quebrar em frequências mais altas, e isto sem limite.

Einstein compreendeu que a quantização de Planck com a constante servia para congelar estes níveis de energia mais altos. Da mesma forma que o corpo negro era tomado como uma infinidade de osciladores harmônicos, Einstein tomou o sólido (cuja estrutura é reticular), como um retículo, tendo em cada vértice um oscilador harmônico.

Neste modelo (ainda bastante grosseiro), o sólido não podia receber nenhuma energia de um meio, à temperatura T , tal que:

$$kT < h\nu$$

portanto nas imediações do zero absoluto, o sólido se comportava como tendo calor específico nulo.

O átomo de Bohr, que dá natureza quantizada à energia pos

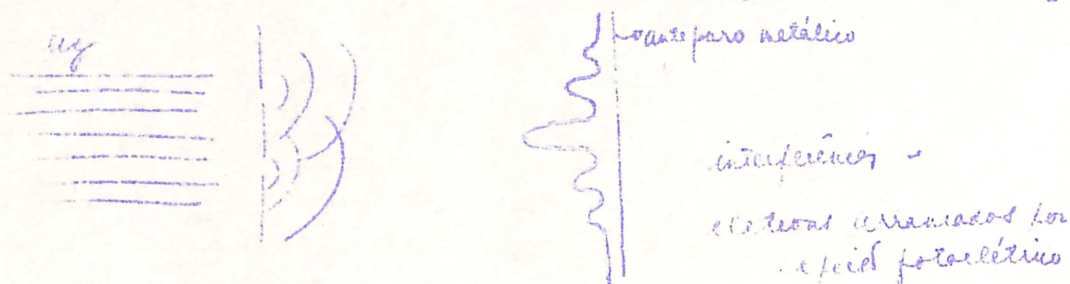
sível do átomo, explicava-a, até então misteriosa, fórmula espectroscópica de Balmer.

No átomo de Bohr, o elétron só pode estar em determinadas órbitas (circulares), nas quais ele não emite energia, (em contração ao eletromagnetismo clássico), e ao mudar de órbita emite um fóton $h(\nu_2 - \nu_1)$ onde ν_n é a frequência de cada nível.

Uma formulação mais geral da teoria de Bohr é devida a Sommerfeld.

Já estava calro nesta época, por vários motivos, que as leis que regiam o movimento do elétron ou da luz, eram diferentes das que regiam os corpos macroscópicos; e as que regiam o movimento do elétron envolviam a constante h (quantum de ação, de dimensões de energia X tempo).

Pode-se conceber uma experiência onde o caracter ondulatório da luz e o caracter corpuscular compareçam ao mesmo tempo:



para conciliar os cálculos ondulatórios com os corpusculares.

Einstein já pressentiu a necessidade de introduzir conceitos estatísticos. Por exemplo:

$$\frac{E^2 + H^2}{8\pi} \rightarrow nh\nu$$

$h = h \cdot \text{medio de fotões}$

Muitos problemas quânticos ainda careciam de explicação.

O spin do elétron (descoberto por Uhlenbeck e Goudsmit - 1925, era "algo como" uma "rotação" intrínseca do elétron, que seria como um pião, com um consequente momento magnético)

Um ano antes, analisando dados espectroscópicos, Pauli enunciou o princípio de exclusão, que diz que uma mesma órbita no átomo de Bohr, não pode ser ocupado por mais de 2 elétrons.

Com a descoberta do spin, viu-se que este comportamento estava ligado a seu spin semi-inteiro.

Fermi desenvolveu a estatística destas partículas que atualmente se chamam férmions.

Bose, por sua vez, desenvolveu a estatística das partícu -

las de spin inteiro (fotons, etc), agora chamados bosons.

Em 1924, De Broglie em sua tese, fez uma analogia do fato de fotons terem propriedades corpusculares e ondulatórias, com a possibilidade dos elétrons, que eram partículas, terem propriedades ondulatórias. Ele relacionou o momento e comprimento de onda do elétron.

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad E = h\nu$$

Em 1925, Heisenberg formulou a mecânica quântica matricial (mecânica das matrizes).

Ainda em 1925, Schrödinger descobriu sua famosa equação que descrevia a evolução temporal de um sistema quântico.

Como vimos a mecânica quântica surgiu por duas vias: tese De Broglie (mecânica ondulatória) e mecânica das matrizes de Heisenberg. Posteriormente Dirac propôs uma formulação mais avançada em termos dos nrs quânticos.

A mecânica ondulatória utilizou as técnicas da física matemática clássica (equações diferenciais parciais) e até hoje para problemas simples este tratamento é escolhido. Para o estudo do movimento de n partículas, na mecânica clássica tem-se $3n$ coordenadas espaciais (x_i) $3n$ coordenadas dos momentos p_i e ao todo portanto um espaço de fase a $6n$ dimensões. Na mecânica quântica, para se descrever o movimento de n partículas, utiliza-se um espaço complexo de infinitas dimensões e cada grandeza física corresponde a um operador neste espaço.

Lembremo-nos de que um espaço vetorial forma um grupo abeliano com relação à soma e possui um produto escalar distributivo em relação à soma

Espaço Vetorial (E)

$$I - \psi + \psi' = \psi' + \psi$$

$$II - \psi + (\psi' + \psi'') = (\psi + \psi') + \psi''$$

$$III - \psi + 0 = \psi$$

$$IV - \psi + (-\psi) = 0$$

$$\exists \text{ um conjunto } \{ \psi_n \} \text{ tal que } \forall \psi \in E \quad \psi = \sum a_n \psi_n$$

Chama-se dimensão do espaço ao menor número (N) de ψ_n que constitua uma base. Os a_n podem ser tomados reais ou complexos; em

geral os a_n constituem um corpo de números (p.ex. corpo dos reais, corpo dos complexos, etc).

Operadores Lineares atuando em E

$$A(\psi_1 + \psi_2) = A\psi_1 + A\psi_2$$

$$A(c\psi) = c(A\psi)$$

Em mecânica quântica as grandezas físicas são expressas por operadores lineares atuando sobre o espaço E.

Para a mecânica quântica se exige de (E) que possua ainda a propriedade de produto escalar (métrico).

Para a mecânica quântica o produto escalar (ou interno) com vetores complexos deve ser tal que:

$$I \quad (\psi_1, \psi_2) = (\psi_2, \psi_1)^*$$

$$II \quad (\psi, \psi) = \text{no real} \geq 0 \quad \text{se } \psi = 0 \text{ então } \psi = 0$$

$$III \quad \begin{cases} (\psi + \psi', \psi'') = (\psi, \psi'') + (\psi', \psi'') \\ (\psi, \psi' + \psi'') = (\psi, \psi') + (\psi, \psi'') \end{cases}$$

$$IV \quad \begin{cases} (c\psi, \psi') = c^* (\psi, \psi') \\ (\psi, c\psi') = c (\psi, \psi') \end{cases}$$

Com estas condições (E) é um pré-espaço de Hilbert; para que seja espaço de Hilbert é preciso um 5º postulado.

As vantagens destas propriedades (produto escalar) é a introdução dos conceitos métricos no espaço vetorial (norma de vetor).

5º Postulado

(introdução do conceito de convergência)

com a norma $\|\psi\| = \sqrt{(\psi, \psi)}$

tomemos a sequência $\psi_{n+p} \in E$, se $\lim_{n \rightarrow \infty} \|\psi_{n+p} - \psi_n\| = 0$ então existe sempre um vetor $\psi \in E$ para o qual converge a sequência ψ_{n+p} (convergência forte).

O espaço de Hilbert é um exemplo de espaço vetorial topo-

lógico.

Espaço Unitário

Tomemos os ψ tais que

$$\|\psi\| = 1 \longrightarrow \text{-(esfera unitária)}$$

tomemos sobre esta esfera a sequência $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$.

Se dado um vetor ψ sobre a esfera for possível extrair uma subsequência ψ_{r_n} tal que:

$\lim_{n \rightarrow \infty} \|\psi - \psi_{r_n}\| \rightarrow 0$ então o espaço de Hilbert é dito separável.

É deste tipo o espaço dos estados em mecânica quântica.

A passagem para o espaço de Hilbert não separável é extremamente complicada e até hoje não é tratada satisfatoriamente.

Diz-se auto-vetor ψ_n e auto valor A_n de um operador linear A dos vetores e números satisfazendo a equação.

$$A \psi_n = A_n \psi_n$$

Em mecânica quântica o operador A representa uma grandeza física.

Interpretação física: Os valores próprios (auto-valores) do operador são os valores possíveis da grandeza física.

Por exemplo para o operador Hamiltoniano (de energia)

$H \psi_n = E_n \psi_n$ onde se ψ_n são as auto funções de H , para um átomo por exemplo, os E_n são os valores possíveis da energia para o átomo.

Para que possamos interpretar fisicamente é preciso que os A_n sejam reais. Veremos que para $(\psi_2, A \psi_1) = (A \psi_2, \psi_1)$ ou seja A hermitiano os A_n serão reais:

$$\begin{aligned} (\psi_n, A \psi_n) &= A_n (\psi, \psi) \\ (A \psi_n, \psi_n) &= A_n^* (\psi, \psi) \end{aligned} \quad \therefore A_n = A_n^*$$

A_n é real

Clássicamente o valor operado da medida de uma grandeza física (f) para um certo estado é sempre um valor bem determinado $f(x_i, p_i)$. Para a mecânica quântica a interpretação é postulada da seguinte forma: A probabilidade de se obter o valor A_n para a grandeza física ex-

pressa pelo operador A medido sobre um estado ψ é

$$\text{Prob}_{\psi} A_m = \left| (\psi, \psi_{A_m}) \right|^2 \quad \text{qdo se toma} \quad \begin{cases} |\psi| = 1 \\ |\psi_{A_m}| = 1 \end{cases}$$

para um auto estado ψ_{A_m} .

$$\text{Prob}_{\psi_{A_m}} A_m = \left| (\psi_{A_m}, \psi_{A_m}) \right|^2 = 1$$

Dois vetores no espaço de Hilbert são ortogonais quando:

$$(\psi_1, \psi_2) = 0$$

Se tomarmos os ψ correspondentes a auto valores diferentes

$$\psi_{A_m}, \psi_{A_n} \text{ com } m \neq n \quad (\psi_{A_m}, \psi_{A_n}) = 0$$

Quando um sistema físico estiver num estado ψ_{A_m} a probabilidade de obter o valor A_m é 1 e de obter A_n num é zero

Demonstração de que $\psi_{A_m} \perp \psi_{A_n}$:

$$(\psi_{A_m}, A\psi_{A_n}) = A_n (\psi_{A_m}, \psi_{A_n})$$

$$(A\psi_{A_m}, \psi_{A_n}) = A_m (\psi_{A_m}, \psi_{A_n})$$

$$\therefore (A_m - A_n) (\psi_{A_m}, \psi_{A_n}) = 0 \quad \text{mas } A_m \neq A_n \therefore (\psi_{A_m}, \psi_{A_n}) = 0$$

Para que seja coerente a interpretação probabilística é preciso que:

$$\sum_{A_n} \text{Prob}_{\psi} A_n = 1$$

Isto é demonstrável a partir da hipótese de que o conjunto $\{\psi_{A_n}\}$ constitua um sistema completo de funções ortonormais, ou seja, dada uma função ψ qualquer do espaço de Hilbert e dado um ϵ tão pequeno quanto se quizer, existe sempre a soma $\sum c_{A_n} \psi_{A_n}$ tal que

$$\|\psi - \sum c_{A_n} \psi_{A_n}\| < \epsilon \quad \text{para } \|\psi\| = 1$$

ou seja $\sum c_{A_n} \psi_{A_n}$ é uma representação de ψ . Procurando uma representação "melhor" para

$$\psi \rightarrow \psi \approx \sum_{n=0}^N c_{A_n} \psi_{A_n}$$

e minimizando a diferença entre ψ sua representação

$$\|\psi - \sum_{n=0}^N c_{A_n} \psi_{A_n}\|^2 = (\psi - \sum c_{A_n} \psi_{A_n}, \psi - \sum c_{A_n} \psi_{A_n}) =$$

$$\begin{aligned}
&= \underbrace{(\Psi, \Psi)}_1 - \sum (\Psi, c_{A_n} \Psi_{A_n}) - \sum (c_{A_n} \Psi_{A_n}, \Psi) + \\
&+ \sum_{\substack{A_n \\ A_m}} (c_{A_n} \Psi_{A_n}, c_{A_m} \Psi_{A_m}) = 1 - \sum_{A_n=0}^{A_n} c_{A_n} (\Psi, \Psi_{A_n}) - \\
&- \sum_{A_n=0}^{A_n} c_{A_n}^* (\Psi_{A_n}, \Psi) + \sum_{A_n=0}^{A_n} |c_{A_n}|^2
\end{aligned}$$

impondo mínimo valor para esta expressão

obtemos

$$c_{A_n} = (\Psi_{A_n}, \Psi)$$

no limite $n \rightarrow \infty$

$$\sum_{A_n(n=0)}^{\infty} |c_{A_n}|^2 = 1$$

o que nos dá condição indispensável de a soma das probabilidades ser 1.

Vejamos como a mecânica quântica formulada nesta forma se relaciona com a mecânica de matrizes de Heisenberg e com a mecânica ondulatória de De Broglie.

Tomemos vetores básicos no espaço de Hilbert $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$ e sejam ortonormais os vetores desta base, ou seja

$$(\psi_m, \psi_n) = \delta_{nm}$$

Simbolicamente qualquer vetor pode ser expresso como a soma de suas componentes na direção de cada vetor básico,

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \psi_n \quad a_n = (\psi_n, \psi)$$

Sendo completo o sistema devemos ter

$$\sum_1^{\infty} |a_n|^2 = (\psi, \psi)$$

Os operadores lineares podem ser caracterizados pela matriz associada. Pode-se, p.ex. determinar o operador pela sua atuação sobre cada vetor base

$$\{A \psi_n\}$$

formalmente

$$A \psi = \sum_{n=1}^{\infty} a_n (A \psi_n)$$

por outro lado, podemos escrever

$$A\psi_n = \sum_m A_{nm} \psi_m \quad \text{desta forma ao}$$

operador A corresponde a matriz

$$\begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \dots & \dots & A_{nn} \end{vmatrix}$$

Vê-se da expressão de $A\psi_n$ que $A_{nm} = \langle \psi_n | A | \psi_m \rangle$ que são chamados elementos de matriz do operador.

A mecânica das matrizes, na realidade, trabalhava com as matrizes dos operadores (não tinha ainda o tratamento de espaço de Hilbert).

A cada escolha do conjunto de vetores básicos corresponde uma matriz diferente, que depende do operador e da base. Na mecânica ondulatória a atenção se voltou para o estado, não de uma forma abstrata como na mecânica de matrizes, mas de uma forma diferente:

Chamamos $a_n = \langle \psi_n, \psi \rangle = a(n)$

Escolhemos B, operador de base, de forma que $B\psi_n = B'_n \psi_n$

Se tomarmos ψ normalizado $\|\psi\| = 1$

Neste caso $\|a_n\|^2$ = probabilidade de se obter o valor B'_n da grandeza física associada ao operador B.

podemos escrever a $a(n)$ como $a(n) = f(B'_n)$ (isto é simplesmente mudança de notação), de forma que, a probabilidade de se achar o valor B'_n é

$$|f(B'_n)|^2$$

$f(B'_n)$ é já uma função de onda, associada neste caso ao índice discreto B'_n .

Há em geral 3 tipos de grandezas físicas: 1) as que só tomam valores discretos, 2) as que só tomam valores contínuos, 3) as que tomam valores contínuos e discretos.

Um exemplo interessante é o do átomo de Hidrogênio. Classicamente é um problema análogo ao das órbitas dos planetas. Há órbitas circulares e elípticas (energia negativa) e órbitas parabólicas ou hiperbólicas (energia positiva).

Quanticamente as energias negativas são quantizadas (espectro discreto); as energias positivas corresponde um espectro contínuo (não quantizado). Esse é um exemplo de espectro misto (parte contínuo parte

discreto).

Na realidade os espectros contínuos são tratados matematicamente com muita dificuldade uma vez que os vetores com norma infinita não são propriamente vetores no espaço de Hilbert.

Entre as grandezas que tomam valores contínuos estão as coordenadas de posição, e estas são contínuas em qualquer caso. Por exemplo, se colocarmos um átomo dentro de uma caixa a energia só pode ser des -
contínua, contudo ainda nesse caso a posição tem valores variando -
(ou seja operador X_{op} possui um espectro contínuo).

para se tratar coerentemente com esse tipo de operadores a regra de que $\left\{ |a(n)|^2 = \text{probabilidade} \right\}$ deve ser mudada:

$$\text{Espectro discreto} \longrightarrow |f(B'_n)|^2 = \text{Prob } B'_n$$

Espectro contínuo (posições, p.ex.)

$$|\psi(x, y, z)|^2 dx dy dz = \text{probabilidade}$$

de encontrar a partícula dentro do paralelepípedo infinitesimal dx, dy, dz .

Em resumo a Teoria de De Broglie se importa mais com o estado ao passo que a mecânica de matrizes se ocupava mais com as matrizes dos operadores numa dada base.

A ligação entre os dois tratamentos está na identificação dos vetores com os estados.

Um tratamento mais completo desta passagem foi feito por Dirac e Jordan, esse trabalho, contudo, tinha deficiências matemáticas, pois naquela época a análise funcional ainda não se tinha desenvolvido. Von Newman desenvolveu posteriormente um método correto, porém artificialmente, baseado nos espaços de Hilbert.

Vejamos como se tratou o movimento na mecânica quântica.

Na mecânica clássica o movimento pode ser, por exemplo tratado pelas equações de Hamilton

$$\frac{dq_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_i} \quad \frac{dp_i}{dt} = - \frac{\partial H}{\partial q_i}$$

Na mecânica das matrizes (com base em analogia à clássica), onde os operadores variam com o tempo, também se equacionou a variação temporal das grandezas físicas.

Classicamente,
$$\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + \sum_i \left(\frac{\partial A}{\partial q_i} \frac{dq_i}{dt} + \frac{\partial A}{\partial p_i} \frac{dp_i}{dt} \right)$$

∴ das equações de Hamilton:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + \sum_i \left(\frac{\partial A}{\partial q_i} \frac{\partial H}{\partial p_i} - \frac{\partial A}{\partial p_i} \frac{\partial H}{\partial q_i} \right)$$

então $\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + \{A, H\}$ é a equação de movimento clássica da grandeza física A.

$\{A, H\}$ é parêntesis de Poisson das grandezas físicas A e H

Dirac descobriu que a passagem para a Mecânica Quântica se faz passando

$$\{A, H\} \quad \text{para} \quad [A_{op}, H_{op}] \quad (\text{comutador})$$

Por definição de comutador,

$$[A_{op}, H_{op}] = A_{op} H_{op} - H_{op} A_{op}$$

Dirac formulou então um princípio de correspondência:

$$[A_{op}, H_{op}] = i\hbar \{A, H\}$$

(baseado em propriedades de teoria dos grupos).

Desta forma a equação quântica deve ficar como

$$\frac{dA_{op}}{dt} = \frac{\partial A_{op}}{\partial t} + \frac{1}{i\hbar} [A_{op}, H_{op}] \quad \text{Equação de Heisenberg}$$

onde H_{op} é o operador Hamiltoniano quântico.

Um fato fundamental da mecânica quântica tirado do princípio da correspondência é a associação do comutador de operadores quânticos a cada parêntesis de Poisson das grandezas clássicas correspondentes.

Para os parêntesis de Poisson clássicos,

De (1)
$$\{q_k, p_j\} = \delta_{kj} \quad \{q_k, q_j\} = 0 \quad \{p_k, p_j\} = 0$$

$$\frac{1}{i\hbar} [q_k, p_j] = \delta_{kj} \quad \mathbb{1} \text{ — operador unidade}$$

$$\therefore [q_k, p_j] = -i\hbar \delta_{jk} \mathbb{1}$$

Do ponto de vista da mecânica ondulatória, o estado e não o operador, muda com o tempo. Mas este ponto de vista deve ter a mesma interpretação física, ou seja, o mesmo resultado. Isto acontece se o vetor de estado Ψ obedecer à seguinte regra de variação temporal:

$$-i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H_{op} \Psi \quad \text{Eq. de Schrödinger}$$

Schrödinger formulou a equação para as componentes de ψ com

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(x, y, z) \quad -i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V(x, y, z) \psi$$

A equivalência é válida complemento para um sistema finito de graus de liberdade. Recentemente Dirac apontou a formulação de Heisenberg como sendo a mais correta.

Toda a modificação introduzida pela mecânica quântica obrigou os físicos a uma revisão crítica dos conceitos. Niels Bohr foi mais uma vez de grande importância pela sua atuação na conceituação do que se chama "interpretação de Copenhagen da Mecânica Quântica".

Voltando à nossa proposição inicial de que a física é algo entre a natureza e o homem, pensamos que o conhecimento da natureza depende sempre do que se chama de medida ou observação.

O problema que surge em mecânica quântica é o de se saber até que ponto o resultado da medida é próprio do que se mede ou é introduzido pelo aparelho de medida.

O aparelho precisa ter uma dimensão macroscópica (humana) para que possamos utilizá-lo (observar). Não é possível desta forma medir um sistema físico microscópico, sem alterá-lo fortemente. Não se pode, também medir ao mesmo tempo grandezas físicas cujos operadores não comutam.

Várias experiências ideais propostas (microscópio de Heisenberg, experiências de elétrons e fendas) mostram que grandezas cujos operadores não comutam, tais como posição e momento linear, obedecem a seguinte regra de incerteza: $\Delta x \Delta p \approx \hbar$

para $\Delta x = 0 \rightarrow x$ bem determinada $\rightarrow \Delta p \rightarrow \infty$ (p não determinado)

É interessante notar que a mecânica quântica é uma meta-teoria pois nega a mecânica clássica e ao mesmo tempo não pode dispensá-la pois necessita de algum ente (o aparelho de medida) que não se comporte quânticamente, para que possa existir.

Alguns físicos, como Lev Landau, propõem que grandezas como posição não sejam pertinentes a corpos quânticos como o elétron. É uma hipótese ousada, baseada na ausência da trajetória da partícula, e dificilmente aceita.

De qualquer forma a posição da mecânica quântica é peculiar entre as demais teorias e certamente alguns pontos ainda estão por serem esclarecidos.

Doc. 1000

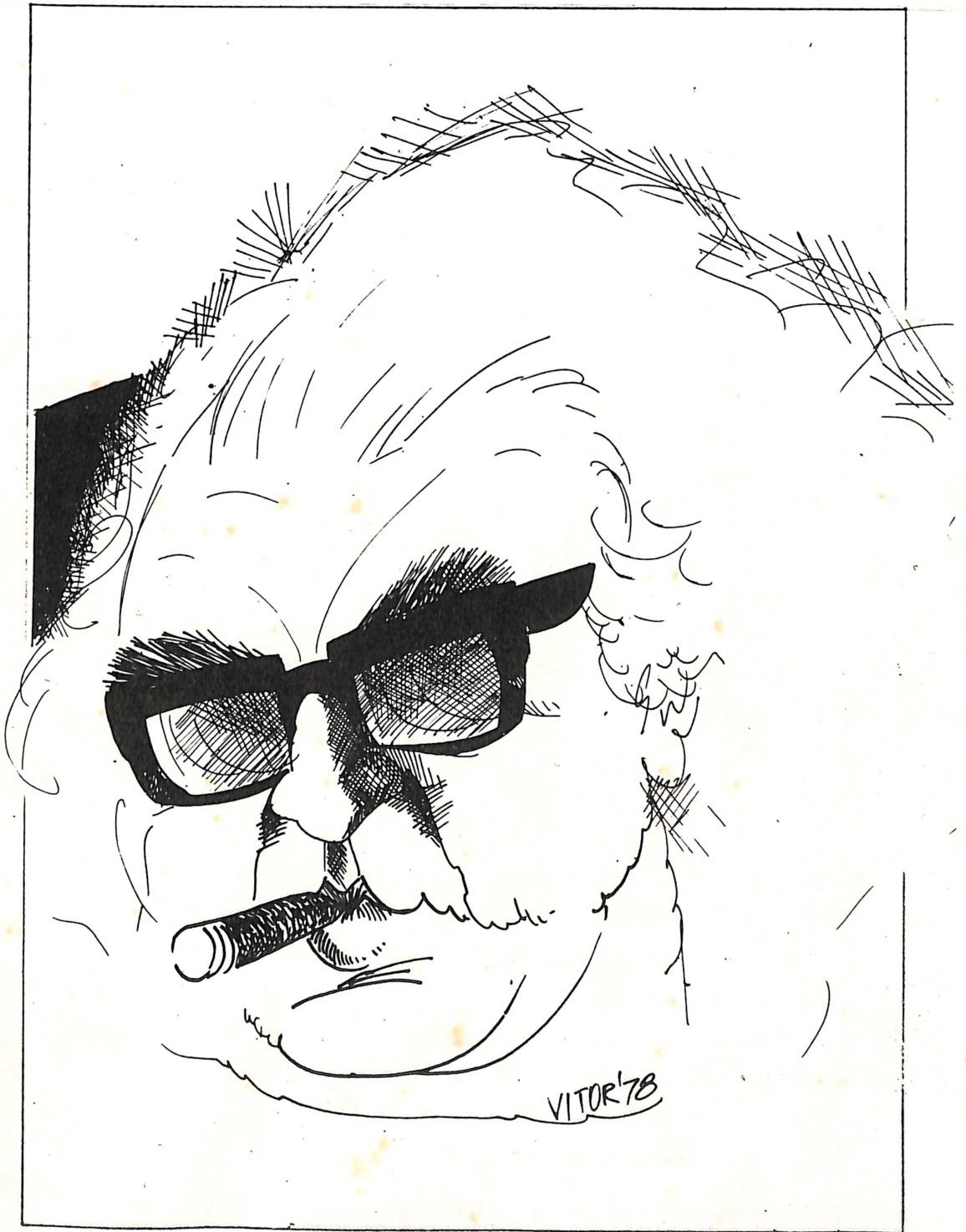
CEFIS

**CENTRO DE ESTUDO
DA FÍSICA**

**HISTÓRIA DA CIÊNCIA
TECNOLOGIA
E
SUBDESENVOLVIMENTO**

**PROFESSOR
MARIO SCHENBERG**

INSTITUTO DE FÍSICA U.F.R.J



INTRODUÇÃO AO CURSO DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA

(Notas de aulas do Prof. Mario Schenberg - USP - 1966)

1.^a AULA:

A ciência é um produto da vida social. É errado pensar que a ciência seja simplesmente da natureza. Ela é sobretudo um instrumento para o homem, para o homem compreender a natureza. Como diz Weizsacker: "A natureza existe antes do homem mas o homem existe antes da física".

A história da ciência é uma parte da história geral e não pode ser estudada isoladamente. As várias ciências são, por sua vez, relacionadas. O desenvolvimento da física esteve notoriamente relacionado com o da matemática, química e astronomia e talvez num futuro próximo estará com o da biologia. Os próprios métodos probabilísticos e estatísticos, que surgiram ligados às ciências sociais (e aos jogos de azar) acabou, bem mais tarde, sendo indispensável à física.

A teoria de informação, mais propriamente linguística e social, já está sendo usada na física e deverá futuramente ter ainda maior importância.

O relacionamento da física com a tecnologia já é fato comum. Como exemplos:

- 1) A física do estado sólido deve muito de sua evolução aos laboratórios de empresas industriais.
- 2) A termodinâmica surgiu do problema tecnológico do aproveitamento de calor (Carnot).

3) Certas conseqüências de eletro-dinâmica quântica sô puderam ser verificadas por meio de técnicas de microondas, desenvolvidas para fins tecnológicos e militares.

Outro aspecto importante é a correlação entre a ciência e a cosmo-visão de cada época. Preconceitos científicos que se estabelecem em determinadas épocas, dificilmente são removidos. Pasteur, por exemplo, teve muita dificuldade para derrubar a idéia de geração espontânea. Hoje o preconceito se inverteu e está difícil se convencer as pessoas da possibilidade de se criar vida por síntese a partir da matéria inorgânica.

A teoria evolucionista, por preconceitos religiosos, chegou a ter sua divulgação proibida no século passado e mesmo até recentemente em alguns estados dos EEUU.

Galileu foi perseguido devido a sua teoria que contrariava o modelo geocêntrico então adotado pela Igreja Católica.

O desenvolvimento da ciência está condicionado a fatores sociais imediatos como interesse (ou de sinteresse) estatal, militar ou não, pela pesquisa. Outros fatores podem ainda ser importantes como as condições econômicas e ideológicas. A idade média é um exemplo da época pouco favorável à ciência, devido a esses fatores.

Após o renascimento, o fortalecimento da bur -

guesia (classe de origem urbana surgida durante a Idade Média) propicia o desenvolvimento científico. Os proprietários feudais, ou a Igreja, não tinham qualquer interesse pela ciência. Quando a burguesia começou a ter influência e sobretudo depois que se tornou a classe dominante (na Inglaterra desde o século XVII e na França depois da Revolução francesa e na Alemanha no século XIX) é que a pesquisa passou a despertar maior interesse.

A revolução industrial, (surgimento da máquina a vapor, estradas de ferro, teares mecânicos, etc.) determinou uma mudança profunda nas condições sociais. Para ter uma idéia do atraso tecnológico da época que a precedeu, basta lembrar que no fim do século XVIII se levava tanto tempo para ir de Roma a Paris como no Império Romano, já que o cavalo continuava sendo o meio de transporte mais rápido.

Na Renascença, primeiro se procurou retomar o desenvolvimento científico do mundo antigo (greco-romano). Mesmo no período helenístico já se haviam feito progressos notáveis no domínio da matemática, da astronomia e de alguns ramos da física.

Eudócio já tinha de certa forma lançado as bases do cálculo integral (determinação de áreas pelo método de exaustão) e das grandezas incomensuráveis (contida na geometria de Euclides porém geralmente incompreendida). O cálculo integral só foi retomado no século XVII e a teoria dos números incomensuráveis

são no século XIX por Dedekind e Cantor. Em Alexandria, Heron já conhecera os rudimentos da máquina a vapor, também haviam sido descobertos, no essencial, as leis da estática dos sólidos e algumas leis de hidrostática (Arquimedes). Eram também conhecidas as leis da reflexão da luz. Os conhecimentos astronômicos da Grécia foram também bastante importantes.

Após a Renascença o nível dos conhecimentos científicos superou rapidamente o da antiga ciência grega.

A astronomia foi um campo de grande evolução nessa época em que viveram Copérnico, Kepler e Galileu.

A grande descoberta de Copérnico não foi essencialmente o heliocentrismo, mas sim a existência de referenciais inerciais, para os quais as leis da mecânica se tornam mais simples (tomando o sol como sistema de referência, fica bem mais simples a lei de movimento dos planetas: "O sol é mais inercial que a Terra")

A dinâmica de Aristóteles (que se baseava no bom senso) tomava essencialmente a força como proporcional à velocidade. Retirada a força, cessava o movimento; mas já naquele tempo isso causava problemas, por exemplo uma flecha prossegue em sua trajetória após deixar o arco. Dizia-se então que o ar impelia a flecha, mas sempre houve quem discordasse disso.

No fim da Idade Média, quando o desenvolvimento urbano e a nascente influência da burguesia (classe urbana por excelência) fez surgir universidades, como as de Paris, Bolonha, e Oxford, aqueles problemas fo-

ram novamente discutidos e surgiu a teoria de impetus germe da futura mecânica. O papel da aceleração contudo, só foi compreendido mais claramente por Galileu e ainda assim surgiram problemas matemáticos devido à difícil visualização de uma derivada segunda.

A matemática recebeu durante a Idade Média importantes contribuições na Ásia. O primeiro tratado de álgebra foi escrito na Índia, onde pela primeira vez, se introduziu o zero como um número (talvez mais compreensível para um budista à procura de Nirvana que para um filósofo grego ...). Aliás os próprios babilônios já tinham certos conhecimentos de álgebra que empregaram nos cálculos astronômicos.

Entretanto para a mecânica era indispensável um novo tipo de matemática (cálculo diferencial): O cálculo diferencial surgiu ligado à geometria (problemas das tangentes e curvas) e a cinemática (velocidades e aceleração). A sua criação (em geral atribuída a Newton) parece ser na realidade, devida a Barrow, professor de Newton. Barrow chegou mesmo a relacionar a integral (conceito "Extensivo" à derivada (conceito cinemático)) sendo a integral uma espécie de anti-derivada. A formulação mais geral foi feita por Newton e Leibnitz. As leis da mecânica de Newton representam uma generalização da descoberta de Galileu e outros, portanto, no fim do século XVII já estavam lançadas as bases da mecânica. Estava também definido o ideal científico que passou a reger a física: explicar to -

dos os fenômenos físicos pelo movimento de partículas materiais no espaço.

Newton admitira a existência de um tempo absoluto e de um espaço absoluto independentes da matéria.

Leibnitz não aceitava os conceitos newtonianos de espaço e tempo, achava que espaço e tempo eram propriedades de ordenamento respectivamente sincrônicos e diacrônicos, em linguagem contemporânea - (isto é, relações de simultaneidade e relações de sucessão). Os Newtonianos replicavam afirmando que meras relações de ordem não poderiam dar em propriedades extensivas numéricas. Mais tarde, Fonstandt (sec. XIX) mostrou, na sua construção da geometria projetiva, que meras relações de posição sem idéias de extensão poderiam dar valores numéricos (coordenadas projetivas).

Os atomistas gregos (Leucipo e Demócrito) viam o mundo como composto de "átomos" que se moviam no vazio. Esta teoria em geral não prevaleceu na Grécia porque pareceria filosoficamente inaceitável que o vazio (o não ser) pudesse ter existência como o ser dos átomos.

Aristóteles por exemplo, não falava em espaço, simplesmente espaço para ele era uma propriedade do corpo.

Esta teoria (espaço e tempo absolutos, etc.) contudo, ainda que filosoficamente insatisfatória teve uma grande utilidade prática. Os cálculos de Newton davam previsões rigorosas de fenômenos astronômicos como o movimento dos planetas e períodos de eclipses. A criação de uma teoria capaz de uma previsão rigorosa dos fenômenos naturais causou um enorme impacto intelectual na cultura européia. É interessante notar que

mesmo no século XVII um matemático e físico da estatura de um Pascal duvidava ainda de um determinismo de fenômenos naturais. Talvez por isso, Pascal tenha sido um dos criadores do cálculo das probabilidades.

É interessante, ainda lembrar que o determinismo das leis de Newton estava de acordo com as concepções teológicas da época. No mundo protestante onde a influência de predestinação calvinista se tornara poderosa, o determinismo foi facilmente aceito. Nas suas concepções de espaço, Newton sofreu também a influência das idéias religiosas e filosóficas de sua época: afirmou na sua obra fundamental que: o espaço é o sensorio de Deus. Isso indica as raízes da idéia de espaço absoluto que seria desligado da matéria mas constituído pelos órgãos sensoriais de Deus.

A formulação clássica do determinismo absoluto foi dada por Laplace, o famoso físico e astrônomo francês do século XVIII sendo por isto chamado de determinismo laplaciano. Laplace disse que uma inteligência superior que conhecesse as posições e as velocidades de todas as partículas materiais do universo num instante, assim como as suas leis de força e fosse capaz de resolver equações diferenciais de Newton correspondentes, poderia prever exatamente tudo o que iria acontecer em qualquer época.

O filósofo alemão Engels, na sua "Dialética da Natureza", observou que o determinismo laplaciano não passava de uma nova forma do fatalismo islâmico.

Já o próprio Newton emitiu certas dúvidas quanto ao determinismo absoluto, nos seus estudos de ótica, em que já vis

lumbra algumas idéias da mecânica quântica do século XX.

Newton, como se sabe, era partidário da teoria corpuscular da luz, quase que geralmente aceita na época, contudo, para explicar certos fenômenos óticos como a difração, já admitiu a possibilidade de um elemento de acaso e de probabilidade no comportamento dos corpúsculos luminosos.

No século XVII, o físico holandês Huyghens já apresentara uma teoria ondulatória da luz em que os fenômenos óticos eram assimilados aos acústicos, como propagação de ondas luminosas. A teoria de Huyghens não oferecia vantagens práticas naquela época em que os instrumentos matemáticos necessários para o estudo da propagação de ondas ainda não existiam. Uma diferença essencial entre as teorias ondulatórias e corpuscular da luz seria a previsão das velocidades de propagação da luz em meios com diferentes índices de refração. A teoria corpuscular de então exigia que os corpúsculos tivessem velocidade de maior em meios com maior índice de refração, ao passo que a ondulatória exigia o decréscimo dessa velocidade como o aumento do índice de refração.

Na época não era possível determinar a velocidade da luz na terra, mas no século XIX isto foi feito e a previsão da teoria ondulatória foi confirmada.

Veremos, porém, que no século XX Einstein ressucitou a concepção corpuscular sem, de resto, eliminar a ondulatória, criando a famosa dualidade onda-corpúsculo da mecânica quântica.

A dificuldade relativa à velocidade de propagação dos corpúsculos luminosos pôde ser resolvida com a aplicação da

teoria da relatividade, assim, paradoxalmente, tanto Newton quanto Huyghens tinham razão.

No século XVIII foi iniciado o desenvolvimento da teoria dos derivados parciais (Equação de D'Alembert, Eq. de Laplace, etc.) o que permitiu a formulação das leis da hidrodinâmica dos fluídos perfeitos (sem viscosidade). Em particular, o fenômeno da propagação de ondas sonoras pôde ser tratado em forma de matemática mais satisfatória.

No estudo do calor, a introdução do conceito de temperatura tinha sido bastante clara porque se relaciona com nossa experiência quotidiana de corpos mais frios ou mais quentes (parece até que os chineses, há bastante tempo, já haviam inventado uma espécie de termômetro). Outro conceito importante e mais sutil na teoria do calor é o da quantidade de calor ligado às medidas calorimétricas que foram introduzidos no século XVIII. Naquela época o calor era considerado como um fluído especial, o calórico. A quantidade de calor contida num corpo seria o seu conteúdo de fluído calórico. No século XVIII havia uma tendência a se utilizar grande número de fluídos hipotéticos como os fluídos elétricos, os fluídos magnéticos e o famoso flogístico da química. No fim do século XVIII a existência do calórico começou a ser posta em dúvida. Rumford trabalhando em perfuração de canhões ficou impressionado pela quantidade aparentemente ilimitada de calor que se desprendia durante a perfuração do tubo e sugeriu que esse calor fosse realmente produzido pelo trabalho mecânico de perfuração.

Uma das maiores realizações da física do século XIX foi

o desenvolvimento da termologia, que culminaria com a criação da mecânica estatística e abriria o caminho para a descoberta da teoria dos quântas por Planck em 1900.

A primeira lei fundamental a ser descoberta foi o 2º princípio da termodinâmica chamado de princípio de Carnot (descoberto pelo físico francês Sadi Carnot que estava muito interessado nos problemas suscitados pela máquina a vapor - surgida na segunda metade do século XVIII).

Posteriormente se descobriu nos papéis póstumos de Carnot o enunciado do 1º princípio da termodinâmica que não fora publicado em sua vida.

De grande importância foi também, a descoberta da equação da condutibilidade do calor pelo físico francês Fourier, foi o primeiro caso de uma equação do tipo parabólico, que descreve fenômenos irreversíveis. Só mais tarde, no século XX é que se iria compreender que estas equações parabólicas estão ligadas aos chamados processos estocásticos.

O primeiro princípio da termodinâmica (equivalência entre trabalho e calor) após ser descoberto por Carnot foi redescoberto pelo médico alemão Robert Meyer, que o publicou. Contudo, sua descoberta foi mal recebida e ele ficou profundamente deprimido, tendo mesmo enlouquecido. Posteriormente esta equivalência foi estabelecida experimentalmente pelas famosas experiências de Joule.

Em meados do século XIX, Helmholtz, famoso físico alemão, chegou a uma concepção mais geral da conservação da energia, não apenas das formas mecânicas ou térmicas mas de outras também.

O conteúdo mais profundo do princípio de Carnot foi posto em evidência pelo físico alemão Clausius.

Ele mostrou que do princípio de Carnot resultava a existência de uma função de estado do corpo que se denominava entropia. A entropia de um corpo isolado tende a crescer. Daí, foi sendo compreendida a verdadeira natureza do 2º princípio' da termodinâmica como uma espécie de lei da degradação da energia.

A descoberta da entropia tornou possível o desenvolvimento de uma teoria do equilíbrio termodinâmico que foi também aplicada às reações químicas por Planck, Gibbs e outros.

Esse constitui o primeiro grande sucesso da física em explicar algumas propriedades de reações químicas.

Nesse mesmo período a teoria do calor teve outro progresso decisivo ligado a teoria cinética dos gases. Já no século' XVIII Daniel Bernouille desenvolveu esta teoria e chegou a provar a lei de Boyle-Mariotte.

Era razoável se admitir uma relação entre a temperatura' e a velocidade (ou energia cinética) das partículas, devido ' ao acréscimo da pressão (a volume constante) com o aumento da temperatura. Daí surgiu a idéia de que calor era simplesmente energia de agitação das moléculas. Isto dava pois prosseguimento ao programa "atomista" de reduzir as leis físicas ao conhecimento do movimento de partículas no espaço.

O caráter caótico do movimento implicava na impossibilidade de se transformar toda a energia do movimento (desordenado) em trabalho (ordenado). Daí surge a idéia de que a entropia ' estaria ligada a esse problema.

A mecânica estatística inaugurou uma nova época na física com "certo desvio filosófico" uma vez que se introduziam leis probabilísticas. A entropia nesse esquema seria a medida da desordem do sistema.

Boltzman distinguia estado macroscópico de estado microscópico do sistema. Vários estados microscópicos correspondiam a um mesmo estado macroscópico (idéia totalmente inaceitável hoje, e o erro está na distinguibilidade das moléculas admitida por Boltzman). O número de estados microscópicos que resultam num mesmo estado macroscópico era a probabilidade do estado macroscópico (P).

A entropia teria então a forma:

$$S = K_{\mu} \log P$$

Aplicada ao estudo dos fenômenos irreversíveis (como troca de calor, difusão, etc.)

A equação acima não é exata valendo só aproximadamente.

Se se fizerem os cálculos a partir das leis da mecânica, acaba-se por negar o acréscimo absoluto da entropia (S). Para aperfeiçoar essa teoria foi preciso introduzir novos conceitos probabilístico.

2.^a AULA:

Como vimos, a teoria do equilíbrio termodinâmico foi utilizada pela química para o equilíbrio químico. A termodinâmica iniciou o importante processo de "fiscalização" da química. A química mostrou-se bastante rebelde à redução do estudo do movimento da matéria.

Posteriormente, os resultados (ligações químicas, etc.), obtidos por meio da mecânica quântica, acabou com a resistência e completou de certa forma esta "fiscalização".

Newton dedicou grande parte de sua vida à química (fato pouco conhecido). A saturação das forças químicas, por exemplo, é um fato que violava as leis de Newton. Realmente, este problema está ligado à mecânica quântica e é curioso que Newton já o tinha sentido.

Atualmente tem-se dado importantes "fiscalizações", como a da biologia (código genético, biologia molecular, etc.). O próprio pensamento está sendo estudado por um prisma físico na neuro-fisiologia, tendo sido a cibernética de grande valia neste problema.

No fim do século passado, um problema de equilíbrio entre matéria e radiação (problema do corpo negro) foi profundamente estudado. Tomando o corpo negro como uma cavidade cheia de radiação eletromagnética, o problema é levado a um paradoxo. O princípio de equipartição da energia exigia que todas as frequências de radiação mantivessem a mesma intensidade a qualquer temperatura. (Isto é falso mesmo na experiência cotidiana, onde se sabe que a cor de uma chama ou de um metal aquecido está ligada à temperatura e varia com ela). A comparação entre teoria e ex-

periência levava à paradoxal conclusão de que a matéria interagia com um sistema de infinitos graus de liberdade (radiação).

Plank obteve uma fórmula empírica (numa espécie de interpoção entre as leis de Wien e Rayleigh-Jeans).

O resultado era coincidente com os dados da experiência, contudo, implicava no fato da energia só poder tomar determinados valores. Só a introdução do conceito dos quanta de energia, por Plank, conseguiu justificar o problema teoricamente.

Outro ramo da física com grande desenvolvimento no século XIX foi o eletromagnetismo de origem "humilde" (eletricidade do âmbar e magnetismo de minerais ferrosos), foi fortemente impulsionada com o surgimento da pilha de Volts e as descobertas de Oersted e Ampère (indução eletromagnética).

As equações de Maxwell que surgiram após (e devido) a estas descobertas, constituíram uma formulação geral para o tratamento dos fenômenos eletromagnéticos e a síntese da ótica com o eletromagnetismo (ondas eletromagnéticas).

No fim do século passado já se descobriu o caráter corpuscular da eletricidade e Lorentz desenvolveu o tratamento matemático para os corpúsculos de eletricidade (elétrons).

Havia, contudo, uma lacuna a ser preenchida: a ligação entre os fenômenos mecânicos e eletromagnéticos.

Acreditava-se, então, que as ondas eletromagnéticas se propagassem num meio material especial ("eter") e a análise mecânica das ondas era feita levando-se em consideração este meio.

Este meio mostrou-se, contudo, indetectável (experiência de Michelson Morley).

O problema surgido com esta experiência foi resolvido por

Lorentz, Poincaré e Einstein. Só Einstein, contudo, resolveu-o totalmente.

As leis da mecânica e as do eletromagnetismo eram invariantes por grupos diferentes (grupo de Galileu e grupo de Lorentz). Einstein achou que, como as leis do eletromagnetismo tinham sido mais precisamente verificadas, as leis da mecânica é que deveriam ser alteradas, de forma a se tornarem invariantes pelo grupo de Lorentz.

A modificação proposta por Einstein foi extremamente ousada pois derruba o conceito de espaço e tempo absolutos e os substitui por um espaço-tempo com as simetrias do grupo de Lorentz e não mais das de Galileu.

Einstein mostrou a relação entre a modificação do espaço-tempo e a alteração do conceito de simultaneidade, até então tida como absoluta. Se fosse possível existir um corpo absolutamente rígido, o deslocamento de um de seus extremos corresponderia a um deslocamento instantâneo do outro (propagação de sinal com velocidade infinita). Todavia ele demonstrou que há um limite para propagação de sinais (velocidade da luz).

A introdução por Lorentz do conceito de campo foi um passo extremamente importante (parcialmente desfeito pela mecânica quântica).

Lorentz mostrou que o campo eletromagnético não estava na matéria, como se acreditava, mas sim no espaço (que, diga-se de passagem, era para Lorentz uma espécie de matéria, o "éter"). A inércia do campo ficava então ligada mais aos vetores \vec{E} e \vec{H} que às cargas materiais.

Posteriormente, (séc. XX), a teoria dos quanta introduziu

modificações neste modelo. Retornou à concepção corpuscular, pois para a teoria quântica o campo se constitui de partículas (fótons).

A ótica ondulatória (ainda no séc. XIX) levou vantagem sobre a teoria corpuscular da luz com a importante descoberta, por Yong, da interferência luminosa, tratada posteriormente pelo físico Fresnel. Considerou-se então, liquidada a teoria corpuscular, quando Fizeau conseguiu medir a velocidade da luz nos meios materiais e estas medidas foram compatíveis com a ótica ondulatória. Mais tarde a teoria corpuscular foi reabilitada pela mecânica quântica. Só o efeito foto-elétrico, tratado por Einstein mostrou de fato o caráter corpuscular da luz.

Na ótica ondulatória, a luz é um tipo de onda especial, vibrações elásticas transversais de um meio material. Fraday, que já possuía intuitivamente o conceito de campo obteve um resultado experimental importantíssimo: conseguiu mudar o plano de polarização de um feixe de luz por aplicação de um campo eletromagnético, mostrando o caráter eletromagnético da luz. As equações de Maxwell mostram claramente esta relação.

A ótica corpuscular, antes de ter sido osbrepujada no séc. XIX, deu uma grande contribuição para a mecânica: os princípios variacionais (Lagrange, Hamilton) surgidos por comparação da ótica geométrica com a ótica física, corpúsculos mecânicos e luminosos deveriam ter propriedades comuns e por exemplo a equação de Hamilton-Jacobi surgiu totalmente desta analogia.

ÓTICA GEOMÉTRICA - MECÂNICA DE NEWTON

ÓTICA FÍSICA - FÓRMULA DE HAMILTON

Já no séc. XVIII se tinha proposto a equação de hidrodinâmica

mica (Euler, etc.). No séc. XIX o físico francês Navier formulou a equação também para fluidos viscosos.

Helmholtz desenvolveu a teoria dos turbilhões. Neste mesmo séc. Christofel e outros desenvolveram a teoria das ondas de choque, que se tornaram importantes no séc. XX com o advento da aviação.

Também no séc. XIX desenvolveu-se a cristalografia com a estrutura reticular dos cristais e a determinação da estrutura fundamental dos sólidos.

As propriedades eletromagnéticas dos sólidos tiveram como pioneiro em sua pesquisa, Pierre Curie.

Todos esses fatos acabaram sendo de enorme importância para a tecnologia. O transistor, por exemplo, uma notável conquista da física do Estado Sólido, alterou bastante o panorama social do mundo com a miniaturização dos aparelhos de tele-recepção. Houve crescimento no séc. XIX das interações entre a física e a química. A química científica começou no séc. XVIII com a derrubada da teoria do flogístico por Lavoisier. A teoria cinética dos gases baseava-se na hipótese molecular que era reforçada por conceitos químicos. No começo do séc. XX o estudo do movimento Browniano por Einstein (1905) foi o argumento final favorável a esta hipótese.

No fim do séc. XIX e começo do séc. XX parecia já se saber tudo com relação à física.

Rayleigh disse que restava uns poucos probleminhas a serem resolvidos em física ... Acontece que entre estes probleminhas estava a radiação do corpo negro e a experiência de Michelsen - Morley que acabaram por transformar toda a física (mecânica quântica e relatividade de Einstein).

A nova física do séc. XX trata de problemas que nem se - quer eram imaginados no séc. XIX, como o estudo da forma do espaço, o das partículas elementares, e etc.

Foi também no séc. XIX que se desenvolveu a física matemática clássica: equações e derivadas parciais, desenvolvimento em série de funções ortogonais, etc.

O cálculo das variações, que nasceu praticamente junto com o cálculo infinitesimal (problema de braquistócrona), resultou na chamada análise funcional mais profundamente estudada no séc. XX. Ainda no séc. XIX surgiu a teoria dos grupos e de especial importância a teoria dos grupos contínuos.

A revolução industrial que começou no séc. XVIII teve grande impulso no séc. XIX. Um exemplo da importância da física neste desenvolvimento, é a descoberta da indução eletromagnética por Faraday, que acabou resultando na invenção dos motores elétricos que deram grande impulso ao desenvolvimento industrial.

Outro exemplo é o das ondas hertzianas (descoberta teórica de Maxwell, confirmada por Hertz, vinte anos depois), os quais foram utilizados por Marconi e outros para aplicações práticas nas telecomunicações.

A utilização da energia nuclear é um exemplo mais atual da contribuição da física à tecnologia. É interessante lembrar que desde que o homem surgiu sobre a Terra ele utilizou a energia nuclear, pois a energia solar não é de outra natureza...

☆☆☆

OBS: Este curso consta de 3 aulas. Como a 3ª aula exige, para o seu entendimento, um conhecimento de Mec. Quântica, não a publicaremos. Os interessados devem procurá-la na biblioteca CEFIS

TECNOLOGIA E SUBDESENVOLVIMENTO

Prof. Mário Schemberg

INTRODUÇÃO:

A partir da década dos 60 tornou-se cada vez mais claro que o mundo estava numa nova fase. Podemos dizer que o século XX começou não em 1900 ' mas provavelmente em 1914 e que a metade do século XX encerrou-se por volta de 1960. Agora estamos realmente em plena metade do século.

Já podemos começar a ver com mais clareza uma série de problemas mundiais do que se podia ' ter alguns anos atrás. Verificamos que depois da segunda Guerra Mundial e dos anos de guerra fria, o centro de gravidade dos acontecimentos políticos deslocou-se para fora da Europa e dos EUA e ' passou a situar-se nos países subdesenvolvidos. Os grandes problemas que estão afetando o destino da humanidade hoje em dia estão situados na área dos subdesenvolvidos. Aliás, é um fenômeno curioso na história o fato de que não é nos lugares onde estão as maiores forças que se toma as maiores decisões históricas, mas nos lugares onde estão os ' maiores problemas.

Os acontecimentos da primeira metade do século XX foram bastante perturbados por que se tentou compreendê-los em termos de conceituações que tinham sido herdadas no séc. XIX (conceito de tec-

nologia, evolução social, luta entre socialismo e capitalismo, etc.).

O séc. XIX terminou na primeira Guerra Mundial. Em meio a ela ocorreu um fato - a Revolução Russa - que se pode considerar como o início de uma nova era, acontecimento extraordinariamente importante, que teve variadas interpretações. A que predominou no mundo ocidental, e até na própria União Soviética, dava ênfase especial ao fato de ter sido o primeiro país do mundo a abandonar o sistema capitalista para tentar uma nova forma de economia, a socialista. Outros aspectos deste fenômeno histórico complexo foram subestimados, e posteriormente se tornaram os mais importantes para a história da segunda metade do séc. XX. O que aconteceu na URSS foi interpretado à luz das teorias políticas dominantes no fim do século XIX e nos primeiros anos do séc. XX, em que havia uma luta entre capitalismo e socialismo, tendendo a uma revolução socialista. Mas, teve também uma outra característica importante e específica em todo o séc. XX. A Revolução Russa deve ser vista como o primeiro grande movimento de emancipação nacional, ou seja, foi a primeira grande revolução ant imperialista.

Aprendi este ensinamento em contato com os asiáticos. Nehru afirma que a Revolução Russa foi recebida na Índia com grande satisfação por todas

as classes sociais, pois nela viram uma revolução nacional antiimperialista feita por um povo asiático. Mao Tsé-tung também deu uma interpretação ' semelhante a esse fato. Diz ele que no fim do século XIX os patriotas do seu país estavam muito ' preocupados com a colonização da China e estavam ' procurando um caminho pelo qual a China pudesse ' se modernizar e se tornar um país desenvolvido. A tê então o pensamento predominante era de que a ' China deveria seguir o modelo capitalista como o- correra na Europa e Estados Unidos da América. Mas depois da Revolução Russa, os patriota- chineses ' compreenderam que a via do desenvolvimento chinês não tinha que ser necessariamente semelhante à ' dos países ocidentais. A URSS abria novas perspec- tivas de desenvolvimento através do socialismo e ' da luta antiimperialista.

Num e noutro caso, o problema estava situado na questão da emancipação nacional e desenvolvi- mento econômico. A URSS antes da revolução era um país subdesenvolvido (apesar de umas poucas áreas industrializadas), pré-capitalista e feudal. A re volução teve, assim, um caráter de luta emancipa- dora de país subdesenvolvido. O próprio desenvol- vimento capitalista que houve anteriormente foi ' feito com capital estrangeiro (franceses, ingle- ses, etc.).

OS PROBLEMAS NOVOS:

Por que o problema de desenvolvimento dos países subdesenvolvidos tornou-se tão idferente no séc. XX do que era no séc. passado? No séc. XIX o desenvolvimento era relativamente fácil dentro do sistema capitalista (os EUA e Europa são exemplos) Mas a partir da primeira Guerra Mundial esse surto de desenvolvimento sobre o capitalismo diminuiu ' muito de intensidade. A própria Europa Oriental ' não chegou a ter entre as duas grandes guerras mundiais esse tipo de desenvolvimento. Era como se o capitalismo tivesse esgotado a eficácia desenvolvimentista que havia demonstrado até a 1.^a Guerra mundial. A razão? Comparando as tecnologias do século XIX e XX verificamos que no 1.^o caso as empresas eram pequenas; relativamente com pequeno capital podia-se montar uma indústria que fôsse importante ' para aquela época. No século XX o panorama mudou . Para fazer qualquer coisa de significativo na tecnologia, qualquer empreendimento econômico e de significação nacional exigem-se investimentos astronômicos (p.ex., projetos hidroelétricos, siderurgias, petroquímica, etc). Os campos mais novos (energia nuclear, exploração espacial, etc) exigem investimentos ainda maiores.

Um bom exemplo é a indústria petrolífera. São se obtêm resultados compensadores com investimentos da ordem de bilhões de dólares. Naturalmente isto

limitou muito o desenvolvimento econômico baseado na iniciativa privada porque se tornava muito difícil ao empresário mobilizar o capital necessário a um projeto de grande significação. Mesmo nos EUA isto ocorre. Por exemplo, a exploração do vale do Tennessee pelo governo americano implicou na mobilização de bilhões de dólares e só foi possível graças à iniciativa federal.

Para os países subdesenvolvidos o problema tornou-se extraordinariamente difícil, porque eles se caracterizam pela pobreza de capitais. Para alcançar um nível de desenvolvimento, precisariam fazer enormes investimentos. E os fatos vieram demonstrar que não se pode contar com grandes investimentos estrangeiros.

No Brasil tivemos uma média de 40 milhões de dólares anuais, na década dos 50. O capital estrangeiro representou apenas 1% do total dos investimentos feitos no país no período. Vivemos naquela época, e até 1966 mais ou menos, na ilusão do desenvolvimento feito através do capital estrangeiro.

O Brasil naquela época (50-60) teve um dos maiores desenvolvimentos do capitalismo de Estado em todo o mundo. Mas verificou-se também que os setores mais onerosos ficaram com o Estado enquanto os mais lucrativos permaneciam com as empresas estrangeiras (distribuição de energia elétrica, petróleo, etc).

Mas a lição do petróleo e da energia elétrica não foi aprendida pelas classes dominantes brasileiras. No governo J. Goulart ouvia-se o argumento de que o mundo capitalista estava em grande prosperidade, mas o Brasil não se aproveitava disso por não aceitar as regras do jogo (neutralismo na política externa, p.ex.).

Se este ponto de vista fosse correto, isto é, se os capitais estrangeiros iriam realmente promover o desenvolvimento brasileiro, com a queda de Goulart os investimentos passariam a ser uma realidade. O que ficou demonstrado é que nada disso ocorreu; o que houve foi uma crise econômica das mais graves, que alcançou seu auge no 1º semestre deste ano (1967). A política imposta pelo FMI fez paralisar o desenvolvimento econômico.

Parece que o atual governo está tentando conciliar o antiinflacionarismo do FMI com uma certa política desenvolvimentista, mas até agora não se achou solução para este dilema. A ilusão do investimento estrangeiro dissipou-se nos últimos anos. O resultado foi que a produção de investimento estatal cresceu assombrosamente sobre o de setores particulares.

O problema que se coloca para os subdesenvolvidos é: como desenvolver-se, quando o total de investimentos exigidos alcança uma soma elevadíssima? Em minha opinião essa questão é o problema!

que vai determinar a mudança mais radical na História da Humanidade de que temos notícia até agora. Será uma mudança tão radical, que abalará muitas coisas, inclusive o próprio fundamento da concepção tecnológica.

Se nosso desenvolvimento tivesse de seguir o dos países europeus, teríamos que apelar para fantásticas somas de investimentos. Os subdesenvolvidos terão que procurar outros caminhos. É um problema que não está historicamente resolvido. Mas alguns de seus aspectos estão-se tornando claros. Primeiro, pode-se dizer que o desenvolvimento como foi feito nos países capitalistas (e de certo modo também na URSS) foi um desenvolvimento "excessivo"; isto é, com uma taxa de investimento excessiva. Galbraith, em "A Sociedade Afluente", acha que os EUA têm uma produção excessiva e em geral de coisas desnecessárias. É uma economia que se mantém, não à base das necessidades do povo, muitas das quais não são satisfeitas, mas à custa da publicidade, que cria e alimenta "necessidades", muitas vezes até contraproducentes. Por isso, os subdesenvolvidos não devem seguir necessariamente o modelo desses países que investem em áreas não-produtivas.

Toda a concepção de progresso tecnológico deve ser revista também. Há um livro de Jacques Ellul, que saiu há poucos anos, "L'Engeu de la Te-

chnique", em que o autor pergunta qual é a rentabilidade da organização tecnológica nos países ativamente desenvolvidos. É difícil saber. Por exemplo, introduz-se a automação numa indústria. A vantagem setorial é óbvia, porque barateia a produção ali, diminui a mão-de-obra necessária. A avaliação da vantagem global para toda a sociedade é muito difícil de calcular. Alguns anos atrás, quando se começou a desenvolver muito a automação, houve uma espécie de pânico, sobretudo nos EUA, porque se dizia que com a automação iria criar-se um problema enorme de desemprego. Naquela ocasião havia uma diminuição de 40.000 empregos por semana. Mas esta avaliação inicial do impacto da automação estava incorreta, porque era praticamente impossível fazer o cálculo do reflexo social global da introdução da automação numa parte da economia. Uma máquina nova pode realmente diminuir o número de operários; mas quantos operários são necessários para produzir essa máquina? Às vezes, é muito difícil determinar isso no emaranhado da economia moderna. Se não se produziu esse desemprego enorme com a automação e se também não houve um aumento colossal da produção, podemos concluir que o ganho real não foi tão grande como se pensava. Houve um certo deslocamento: gente que trabalhava em um setor foi trabalhar em outro. O rendimento do processo tecnológico era mais baixo do que supunha.

Um outro fato é o aumento da burocracia. Diminui a percentagem dos que trabalham na fábrica, mas aumenta o trabalho nos escritórios. Também temos que acrescentar aqui o chamado setor terciário (serviços) que se desenvolve mais.

POR UMA NOVA CONCEPÇÃO DE TECNOLOGIA:

Uma coisa é certa. Os países atrasados têm que procurar um processo de desenvolvimento que exija menos investimento e um aproveitamento maior do trabalho humano. Esse fato não é uma novidade. O desenvolvimento econômico do Japão baseou-se em grande parte no aproveitamento da mão-de-obra que havia em grande disponibilidade. Na indústria japonesa era fácil distinguir dois setores: um que trabalhava para exportação, altamente tecnologicado; e outro setor que abastecia o mercado interno e tinha um grau de desenvolvimento tecnológico muito menor. Num país subdesenvolvido, o fato de produção mais abundante é a mão-de-obra, enquanto que o capital é um fator de produção pouco abundante. É necessária uma estrutura que utilize muito mais os fatores de produção existentes. Aqui se toca num dos pontos de maior gravidade para o Brasil. Todo o nosso pensamento tecnológico foi formado tendo por modelo a Europa e os EUA não levando em conta certas realidades como o aproveitamento de grandes massas de mão-de-obra (que cresce desmesuradamente,

principalmente nos centros urbanos). Nem sempre as soluções tecnológicas copiadas são do interesse do país. Muitas vezes há uma supermecanização que não nos interessa. A supermecanização exige um capital que, como se viu, não temos. Precisamos apelar para um processo de desenvolvimento que combine os fatores de produção. A China é um exemplo ainda mais ilustrativo do que o caso japonês na utilização intensiva de mão-de-obra. Houve, por exemplo, a construção de barragens praticamente sem a utilização de máquinas. E, assim, fizeram-se coisas increditáveis. Foi tudo um outro tipo de desenvolvimento (a ajuda da URSS foi pequeníssima no conjunto) e de sociedade tecnológica que começou a se desenvolver, com características diferentes, originais; mas não há dúvida de que já houve sucesso em vários aspectos. Em primeiro lugar, resolveram o problema de abastecimento. Porém o fato mais surpreendente foi o conseguido no campo militar. É incontestável que a China atualmente está mais adiantada que a própria França no desenvolvimento da energia atômica. Este é um fato de importância histórica, porque um país tão pobre alguns anos atrás conseguiu em pouco tempo resultados surpreendentes. Há portanto possibilidades de um país subdesenvolvido realizar um grande progresso e inclusive passar à frente de países desenvolvidos. O problema tecnológico aí deve ser reexaminado em suas bases.

Um outro acontecimento importante é a guerra' do Vietnã. Ela é o teste da civilização tecnológica americana. E é no campo militar que as civilizações têm sido testadas e é aí que elas permanecem' ou desaparecem. Os romanos, por exemplo, começaram a sofrer suas grandes derrotas militares no apogeu de seu Império. O que presenciamos hoje no Vietnã' é a presença de um poder material esmagador de um lado, derrotado por uma organização superior do outro lado. E aqui tocamos num ponto fascinante. Para Toynbee, a humanidade já superou a era tecnológica e entrou na era **organizacional**. E os problemas de hoje são os organizacionais. Quem melhor se organizar, conseguirá vencer a tecnologia mais avançada. Durante os séculos XIX e XX desenvolveu-se no Ocidente uma concepção falsa da história da humanidade. Aparentemente nenhum país poderia enfrentar com êxito, no século XIX o impacto militar e econômico dos países ocidentais, devido à superioridade tecnológica dos últimos. Mas na realidade mesmo no século XIX foram colonizados os países onde não havia organização. Onde havia um mínimo' de organização, mesmo se fosse um país feudal, isso não aconteceu. O Japão, por exemplo, resistiu à colonização e realizou a industrialização. Uma organização adequada pode inclusive criar condições' para aquisição de uma tecnologia mais avançada. No Brasil, temos como exemplo grande parte de nossa

indústria de construção civil. Baseava-se ela essencialmente no trabalho do "pau-de-arara" e era muito pouco mecanizada. E assim avançamos tecnologicamente: o Brasil chegou a ser um dos países mais adiantados na construção de concreto. Utilizando condições locais.

Mais de 2/3 da humanidade estão nos países subdesenvolvidos e é neles que incide o maior aumento populacional. Como viverão eles? Terão de criar uma nova civilização. A organização das massas humanas é que vai decidir a história na segunda metade do século XX. Certamente, os subdesenvolvidos irão construir uma tecnologia em que a ênfase dada à cibernética, à eletrônica, etc., será muito maior que a ênfase dada à mecânica. Ao mesmo tempo deverá dar grande ênfase à organização e aproveitamento da grande quantidade de mão-de-obra. Eles terão de ser os mais adiantados nos campos mais modernos e não nos campos mais tradicionais. Poderão fazer uma casimira ruim, por exemplo, mas precisarão construir bons cérebros eletrônicos. Conhecendo a experiência passada, não incorrerão em erros (como a produção excessiva de objetos) mas darão ênfase em investimentos mais diretamente relacionados à vida e organização humanas.

Como quase nada têm, a não ser necessidades, eles podem, precisam construir a civilização do futuro.

COMISSÃO DE PUBLICAÇÕES:

Emerson (49 ano)

Vitorvani (29 ano)

Victor (29 ano)