

AS RAÍZES SOCIAIS E ECONÔMICAS DO "PRINCIPIA" DE NEWTON*

BORIS HESSEN**

O trabalho e a personalidade de Newton têm atraído a atenção de cientistas de todas as épocas e nações. A enorme extensão de suas descobertas científicas, o significado de seu trabalho em relação a todos os desenvolvimentos posteriores da física e tecnologia, a notável exatidão de suas leis, justificadamente despertam respeito especial pelo seu gênio.

O que levou Newton a propor mudanças radicais no desenvolvimento da ciência e lhe deu a possibilidade de indicar novos caminhos em seu desenvolvimento futuro?

Onde devemos procurar a fonte do gênio criativo de Newton? O que determinou o conteúdo e direção de suas atividades?



A casa em que Newton nasceu, em Woolsthorpe, Inglaterra, em 1642.

*Tradução de trechos das duas primeiras partes do ensaio "The social and economic roots of Newton's 'Principia'", publicado em Bukharin, N.I. et al - "Science at the cross roads", Frank Cass & Co. Ltd, 1971, págs. 147/212. Tradução de João Zanetic e Maria Regina D. Kawamura.

**Físico soviético, 1883/1937.

Essas são questões que inevitavelmente se colocam ao pesquisador que não se satisfaça simplesmente com a coleta dos materiais relacionados a Newton, mas que deseje penetrar na essência de seu trabalho criativo.

"A natureza e as leis da natureza jazem escondidas na noite; Deus disse: 'Faça-se Newton' e tudo foi luz".

Isso disse o papa num dístico bem conhecido.

"Nossa nova cultura", declarou o professor Whitehead, um matemático britânico famoso, "deve seu desenvolvimento ao fato de Newton ter nascido no ano da morte de Galileu. Imagine o que teria sido a história do desenvolvimento da humanidade se esses dois homens não tivessem surgido no mundo".

O famoso historiador inglês da ciência, F.S. Marvin, membro da presidência deste Congresso Internacional, compartilhou dessa visão em seu artigo: "O significado do século XVII", que apareceu há alguns meses em "Nature".

Portanto, o fenômeno de Newton é visto como devido a uma espécie de bondade da divina providência, e o poderoso impulso que seu trabalho deu ao desenvolvimento da ciência e tecnologia é considerado como o resultado de seu gênio pessoal.

Neste ensaio apresentamos uma visão radicalmente diferente de Newton e de seu trabalho.

Nossa tarefa consistirá em aplicar o método do materialismo dialético e a concepção do processo histórico criada por Marx, para uma análise da gênese e desenvolvimento do trabalho de Newton em conexão com o período no qual ele viveu e trabalhou. (...)

(...) A época durante a qual a atividade de Newton atingiu seu maior desenvolvimento coincide com o período da guerra civil inglesa.

A análise marxista das atividades de Newton (...) consistirá antes de tudo num entendimento de Newton, seu trabalho e sua visão de mundo, como o produto desse período.

A ECONOMIA, A FÍSICA E A TECNOLOGIA NO PERÍODO DE NEWTON

A característica geral da história do mundo que veio a ser conhecida como medieval e moderna é antes de tudo o domínio da propriedade privada.

Todas as informações sociais e econômicas deste período preservam essa característica básica.

Marx considerou este momento da história da humanidade como a história do desenvolvimento das formas de propriedade privada, distinguindo nele três períodos.

O primeiro período corresponde ao domínio do feudalismo. O segundo período começa com a desintegração do sistema feudal e é caracterizado pela emergência e desenvolvimento do capital mercantil e da manufatura.

O terceiro período da história do desenvolvimento da propriedade privada é aquele do domínio do capitalismo industrial. Ele dá origem à indústria de grande escala, à aplicação das forças da natureza para propósitos industriais, à mecanização e a uma mais detalhada divisão de trabalho.

Os brilhantes sucessos das ciências naturais durante os séculos XVI e XVII foram condicionados pela desintegração da economia feudal, pelo desenvolvimento do capital mercantil, das relações marítimas internacionais e da indústria pesada (mineração). (...)

(...) As atividades de Newton situam-se dentro deste segundo período da história do desenvolvimento da propriedade privada.

Consequentemente, nós investigamos antes de tudo as exigências históricas impostas pela emergência do capital mercantil e por seu desenvolvimento.

Em seguida, consideramos os problemas técnicos propostos por essa economia em desenvolvimento e investigamos em que grupo de problemas físicos eles se situavam.

Diregimos nossa pesquisa para três importantes atividades que foram de decisiva importância para esse sistema social e econômico. Essas atividades são: meios de comunicação, indústria e problemas militares.

1. MEIOS DE COMUNICAÇÃO

No início da idade média o comércio já tinha atingido um desenvolvimento considerável. Entretanto, os meios de comunicação por terra estavam em estado miserável. As estradas eram tão estreitas que mesmo a passagem de dois cavalos era difícil.

Comumente as mercadorias eram transportadas por animais de carga. A construção de estradas era quase inexistente. A natureza centralizada da economia feudal não impulsionou a construção de estradas. Ao contrário, tanto os barões feudais quanto os habitantes das regiões por onde passava o transporte comercial estavam interessados em manter as pobres condições das estradas, pois eles tinham o direito de propriedade sobre qualquer coisa que caísse em suas terras dos animais de carga ou das carroças.

A velocidade do transporte terrestre no século XIV não excedia a cerca de 9 km por dia.

Naturalmente o transporte marítimo e fluvial tinha grande importância, tanto em consequência da grande capacidade de carga dos navios quanto à maior velocidade de transporte; enquanto a maior carga disponível, puxada por 10 ou 12 animais, carregava no máximo duas toneladas de mercadorias, um navio médio carregava acima de 600 toneladas. Durante o século XIV a viagem de Constantinopla a Veneza durava três vezes mais por terra do que por mar.

No entanto, mesmo o transporte marítimo neste período era muito imperfeito; como ainda não haviam sido inventados bons métodos de localização dos navios em mar aberto, viajava-se próximo às praias o que retardava enormemente a velocidade de trânsito.

Embora a primeira referência à bússola, no livro árabe "O tesouro do comerciante", datasse de 1242, ela tornou-se de uso universal apenas na segunda metade do século XVI. Os mapas geográficos marítimos surgiram também nessa época.

Porém a bússola e os mapas só podem ser racionalmente utilizados quando há conhecimento de métodos que permitam a localização dos navios, isto é, quando podem ser determinadas a latitude e a longitude.

O desenvolvimento do capital mercantil rompeu o isolamento entre cidade e campo, estendendo largamente o horizonte geográfico e acelerando consideravelmente o ritmo da vida. Havia necessidade de meios de comunicação convenientes, uma medida de tempo mais exata - especialmente devido ao contínuo aumento do ritmo das transações -, e de métodos exatos para contabilidade e medida.

Atenção particular foi dispensada ao transporte por água: ao transporte marítimo como meio de ligar diferentes países, e ao transporte fluvial como meio de ligação interna.

O desenvolvimento do transporte fluvial era também facilitado pelo fato de que na antiguidade os meios fluviais eram mais convenientes e mais investigados, e porque o crescimento natural das cidades estava associado ao sistema de comunicações fluviais. O transporte pelos rios era três vezes mais barato que o transporte por tração animal.

A construção de canais também se desenvolveu como um meio complementar de transporte interno a fim de ligar o transporte marítimo ao sistema fluvial.

Portanto, o desenvolvimento do capital mercantil trouxe os seguintes problemas técnicos no que diz respeito ao transporte por água:

1) Um aumento na velocidade e na capacidade de tonelage m dos barcos.

2) Um aperfeiçoamento das qualidades de flutuação dos barcos: sua confiabilidade, sua menor tendência a virar, seu melhor direcionamento e facilidade de manobras, o que era particularmente importante para navios de guerra.

3) Meios convenientes e confiáveis de determinação da posição no mar: meios de determinar a latitude e longitude, desvio magnético, horário das marés.

4) O aperfeiçoamento das vias fluviais e sua ligação com o mar; a construção de canais e eclusas.

Vamos considerar os pré-requisitos básicos necessários para a resolução desses problemas técnicos.

1) A fim de aumentar a capacidade de tonelage m dos navios era necessário conhecer as leis fundamentais que governam a flutuação de corpos em líquidos, já que para estimar a capacidade de tonelage m é necessário conhecer o método de avaliar o deslocamento de água provocado pelos navios. Estes são problemas de hidrostática.

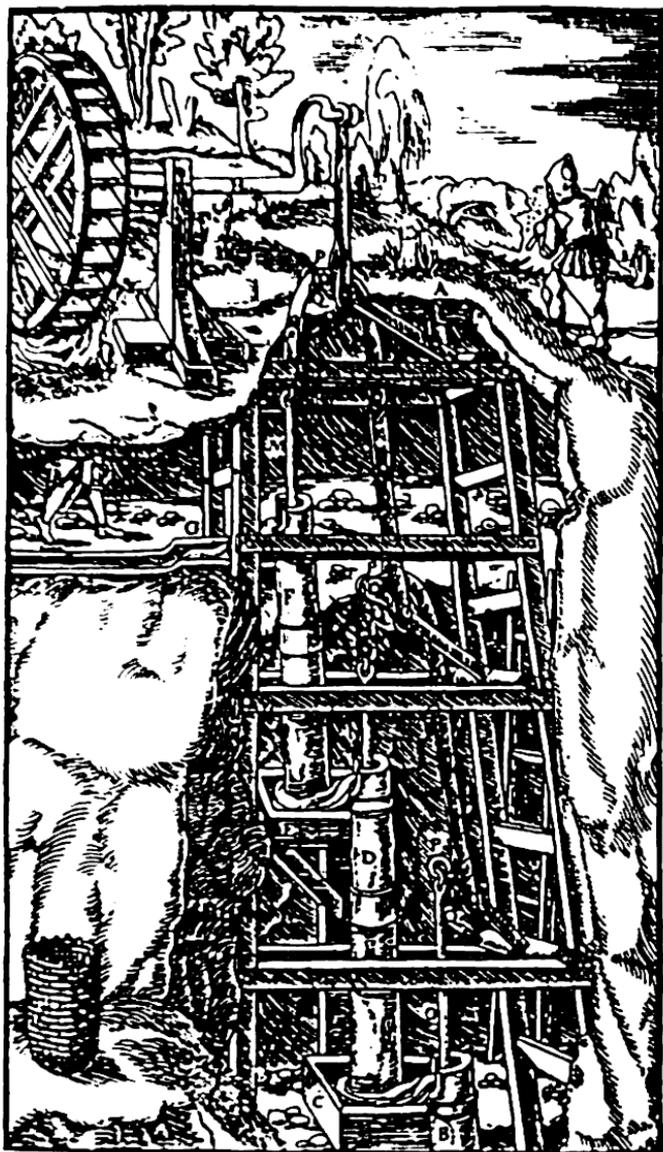
2) A fim de melhorar as qualidades de flutuação de um navio é necessário conhecer as leis que governam o movimento de corpos em líquidos - este é um aspecto particular das leis que governam o movimento de corpos num meio resistente - uma das tarefas básicas da hidrodinâmica.

O problema da estabilidade dos navios é uma das tarefas básicas da mecânica dos pontos materiais.

3) A determinação da latitude depende da observação dos corpos celestes, o que implica na existência de instrumentos óticos e de um conhecimento do mapa dos corpos celestes e de seu movimento, ou seja, da mecânica celeste.

A determinação da longitude pode ser obtida mais simplesmente com auxílio de um cronômetro. Mas como o cronômetro somente foi inventado por volta de 1830, após os trabalhos de Huygens, para essa determinação utilizava-se a medida da distância entre a lua e as estrelas fixas.

Este método, desenvolvido em 1498 por Américo Vespucci, exige um conhecimento exato das anomalias do movimento da lua e constitui-se numa das mais complicadas tarefas da mecânica celeste. A determinação do horário das marés em função da localidade e da posição da lua exige um conhecimento da teoria da atração, que também é uma tarefa da mecânica.



Bombas de sucção, em série, utilizadas para extrair água das minas nos séculos XVI e XVII, segundo ilustração contida em "De Re Metallica", de Georgius Agricola. Trata-se de um tratado de mineração que, embora publicado em 1556, permaneceu sendo a principal obra de referência sobre o assunto durante os dois séculos seguintes.

A importância dessa tarefa é evidenciada pelo fato de que muito antes de Newton ter apresentado sua teoria geral das marés baseado na teoria da gravitação, Stevin, em 1590, já produzia tabelas em que eram apresentados os horários das marés em função da localidade e da posição da lua.

4) A construção de canais e eclusas exige o conhecimento das leis básicas da hidrostática, das leis que governam o fluxo dos líquidos, já que é necessário saber avaliar a pressão da água e a velocidade do fluxo. Em 1598, Stevin estava ocupado com o problema da pressão da água e percebeu que a água podia exercer uma pressão sobre a base dos navios maior que o seu peso; em 1642, Castelli publicou um tratado especial sobre o movimento da água em canais de diferentes seções. Em 1646, Torricelli estava trabalhando sobre a teoria do fluxo dos líquidos.

Como podemos ver, os problemas da construção de canais e eclusas nos conduzem de novo a problemas de mecânica (hidrostática e hidrodinâmica).

2. INDÚSTRIA

Já no fim da idade média (séculos XIV e XV), a indústria da mineração estava se transformando em uma indústria de grande porte. A mineração de ouro e prata, em conexão com a circulação de dinheiro, foi estimulada pelo crescimento do comércio. A descoberta da América deveu-se principalmente à corrida de ouro, pois a indústria européia, com um grande crescimento durante os séculos XIV e XV, e, correspondentemente, o comércio europeu, exigiam um maior suprimento de meios de troca; por outro lado, essa necessidade forçou uma atenção especial para a exploração de minas e outras fontes de ouro e prata.

O desenvolvimento intenso da indústria de guerra, que teve enormes avanços desde a época da invenção das armas de fogo e da introdução da artilharia pesada, estimulou a exploração das minas de ferro e cobre. Por volta de 1350, as armas de fogo tornaram-se de uso comum na Europa.

No século quinze a artilharia pesada alcançou um alto nível de perfeição. Nos séculos XVI e XVII a indústria de guerra forçou o desenvolvimento da indústria metalúrgica. Por exemplo, nos meses de março e abril de 1652, Cromwell solicitou 335 canhões e, em dezembro, um lote de 1500 armas com um peso de 2230 toneladas, com 117000 balas e 5000 bombas de mão.

Consequentemente, fica claro que a exploração mais efetiva

das minas era um assunto da máxima importância. (...)

(...) A fim de elevar o minério até a superfície e bombear água para fora, foram construídos os mais diversos equipamentos para elevação e bombas; foram utilizadas a energia de animais, do vento e de quedas de água. Começou a existir um sistema completo de bombeamento, desde que a existência de minas cada vez mais profundas tornava o problema de remoção da água uma das tarefas técnicas mais importantes. (...)

(...) Portanto, o desenvolvimento do comércio e da indústria de guerra colocam os seguintes problemas para a indústria da mineração:

- 1) A elevação de minérios desde grandes profundidades.
- 2) Métodos de ventilação das minas.
- 3) O bombeamento e equipamento para condução da água.
- 4) A transformação do método rudimentar de produção baseado em fornos a vapor, predominante até o século XV, para a forma mais perfeita de produção por altos-fornos, na qual surge o problema da ventilação.

Vamos considerar os problemas de física básicos para a solução destas tarefas técnicas.

- 1) A elevação do minério para a superfície envolve uma variedade de máquinas mecânicas simples.
- 2) O equipamento de ventilação exige o estudo de correntes, um assunto de aerostática, parte da tarefa da estática.
- 3) O bombeamento de água das minas e o equipamento de bombas, especialmente bombas de pistão, exige considerável investigação nos domínios da aero- e hidrostáticas.

Consequentemente Torricelli, Herique e Pascal trabalharam no problema da elevação de líquidos em tubos e com o problema da pressão atmosférica.

4) A introdução dos altos-fornos na produção trouxe a necessidade de edifícios apropriados, rodas-d'água, foles, máquinas de carregamento e prensas pesadas.

Os problemas de hidrostática e dinâmica propostos pela roda-d'água, fole de ar, ventilação, exigiam também o estudo do movimento do ar e sua compressão.

5) Como no caso de outros equipamentos, a construção de prensas pela utilização da força de quedas d'água (ou tração animal) exigia um complicado planejamento de rodas dentadas e mecanismos de

transmissão, o que é também essencialmente uma tarefa da mecânica. Nos moinhos, desenvolve-se o estudo do atrito e o arranjo matemático de rodas dentadas de transmissão.



Forno para fundir bismuto e minérios de ferro, utilizado no século XVI, segundo ilustração contida em "De Re Metallica".

Portanto, deixando de lado as grandes exigências que as indústrias de mineração e metalurgia colocavam neste período para a química, todas as tarefas técnicas recaem no domínio da mecânica.

3. INDÚSTRIA DE GUERRA

A história da guerra, escreveu Marx a Engels em 1857, permite-nos mais claramente confirmar a exatidão de nossa visão sobre a conexão entre as forças produtivas e as relações sociais. (...)

(...) Um desenvolvimento considerável na artilharia ocorreu durante o século XV. Balas de pedra foram substituídas por balas de ferro. Canhões foram construídos solidamente com ferro e cobre. Houve também um grande desenvolvimento no transporte dessas armas. A velocidade de fogo foi aumentada. (...)

(...) Na batalha de Fornovo os franceses atiravam mais numa hora que os italianos num dia!

Machivavel escreveu "A arte da guerra" especialmente a fim de demonstrar os meios de resistir à artilharia pela disposição racio-

nal da infantaria e da cavalaria.

Naturalmente os italianos não ficaram satisfeitos apenas com isso e desenvolveram sua própria indústria de guerra. No tempo de Galileu, o Arsenal de Florença atingiu um desenvolvimento considerável.

Os primeiros trabalhos teóricos sobre balística e artilharia datam do século XVI. Em 1537, Tartaglia esforçou-se na determinação da trajetória de voo de uma bala e estabeleceu que o ângulo de 45 graus permitia a máxima distância de voo. Ele também redigiu tabelas para direcionar a mira. (...)

(...) No final do século XVII, em todos os países, a artilharia perdeu seu caráter medieval e foi incluída como parte integrante dos exércitos.

Consequentemente, experiências sobre a relação entre calibre e carga, a relação do calibre com o peso e o comprimento do cano no fenômeno do recuo, desenvolveram-se em larga escala.

O progresso da balística deu-se de mãos dadas com o trabalho dos mais proeminentes físicos.

Galileu desenvolveu a teoria da trajetória parabólica de uma bala; Torricelli, Newton, Bernoulli e Euler ocuparam-se da investigação do voo de uma bala através do ar, estudando a resistência do ar e as causas de seu desvio.

O desenvolvimento da artilharia levou, por outro lado, à revolução na construção de fortificações e fortalezas, colocando novos problemas para a engenharia.

O desenvolvimento da arte da guerra suscitou os seguintes problemas técnicos:

Em relação à balística intrínseca:

1) Estudo dos processos que ocorrem numa arma durante o tiro e seu aperfeiçoamento.

2) A estabilidade combinada com o menor peso da arma.

3) Adaptação para uma boa e conveniente pontaria.

Em relação à balística extrínseca:

4) A trajetória da bala através do vácuo.

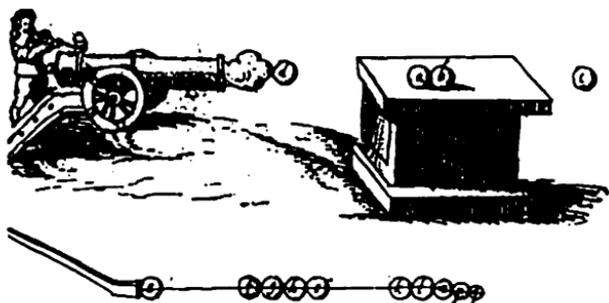
5) A trajetória da bala através do ar.

6) A dependência da trajetória da bala com a resistência do ar.

7) O desvio da bala de sua trajetória.

Vamos considerar as bases físicas desses problemas:

1) Os processos que ocorrem na arma exigem o estudo da compressão e dilatação de gases - basicamente uma tarefa da mecânica-, como também o estudo do fenômeno de recuo (lei da ação e reação).



Antigas experiências sobre choque, ilustração extraída da obra de M. Marci, um contemporâneo de Galileu (1639).

2) A estabilidade da arma propõe o problema do estudo da resistência dos materiais e do teste de sua durabilidade, que também têm grande importância para a arte da construção nesse estágio do desenvolvimento e que são resolvidos por meios puramente mecânicos. Galileu deu considerável atenção a este problema em suas "Demonstrações Matemáticas".

3) O problema da trajetória da bala através do vácuo consiste na solução do problema da queda livre de um corpo sob a influência da gravidade e a relação do movimento progressivo com a queda livre. Por isso, Galileu deu muita atenção ao problema da queda livre dos corpos. Pode-se verificar como seu trabalho estava relacionado aos interesses da artilharia e da balística pelo fato de que ele começa suas "Demonstrações Matemáticas" com uma mensagem aos florentinos, na qual elogia a atividade do arsenal de Florença salientando que o mesmo fornece um rico material para o estudo científico.

4) O vôo da bala através do ar é parte do problema do movimento dos corpos através de um meio resistente e da dependência dessa resistência em relação à velocidade do movimento.

5) O desvio da bala da trajetória calculada pode ocorrer em consequência de mudança na velocidade inicial da bala, mudança na densidade da atmosfera, ou através da influência da rotação da terra. Todos estes são problemas puramente mecânicos.

6) Tabelas precisas para controle da mira podem ser construídas desde que o problema da balística extrínseca seja resolvido e obtida a teoria geral da trajetória através de um meio resistente.

Portanto, deixando de lado o processo de produção das armas e das balas, que é um problema de metalurgia, os principais problemas levantados pela artilharia deste período eram problemas de mecânica.

Vamos retomar agora sistematicamente os problemas de física suscitados pelo desenvolvimento dos transportes, indústria e mineração.

Primeiramente temos que notar que todos eles são puramente problemas de mecânica.

Analisaremos de uma maneira muito geral os temas básicos da pesquisa em física durante o período em que o capital mercantil estava começando a ser a força econômica predominante e a manufatura começando a desenvolver-se, isto é, o período compreendido entre o começo do século XVI e a segunda metade do século XVII.

Não incluímos aqui os trabalhos de Newton pois estes serão sujeitos a uma análise especial. Uma análise dos temas básicos nos habilitarão a determinar a tendência dos interesses da física durante o período imediatamente anterior a Newton e seus contemporâneos.

1) O problema das máquinas simples, planos inclinados e problemas gerais de estática foram estudados por Leonardo da Vinci (fim do século XVI); Ubaldo (1577); Galileu (1589-1609); Cardan (meados do século XVI); e Stevin (1587).

2) A queda livre de corpos e trajetória de projéteis foram estudadas por: Tartaglia (por volta de 1530); Benedetti (1587); Piccolomini (1598); Galileu (1589-1609); Riccioli (1652); A Academia "del Cimento" (1649).

3) As leis da hidrostática e aerostática, a pressão atmosférica, a bomba, os movimentos dos corpos através de um meio resistivo foram estudados por: Stevin (no final do século XVI e princípios do XVII), engenheiro e Inspetor dos equipamentos de terra e água da Holanda; Galileu, Torricelli (primeiro quarto do século XVII); Pascal (1647-1653); Herique (1650-1663), construtor de pontes e canais e engenheiro da armada de Gustavo Adolfo; Robert Boyle (por volta de 1670); Academia "del Cimento" (1657-1673).

4) Problemas da mecânica dos céus e da teoria das marés foram estudados por: Kepler (1609); Galileu (1609-1616); Gassendi (1647);

Wren (por volta de 1660); Robert Hooke.

Os problemas acima mencionados abrangem quase toda a esfera da física desse período.

Comparando esta série básica de problemas físicos com as exigências técnicas de transporte, meios de comunicação, indústria e guerra, torna-se claro que esses problemas foram fundamentalmente de terminados por aquelas necessidades. (...)

(...) Isto não significa, no entanto, que durante este período outros aspectos do movimento e da matéria não tenham sido estudados. Durante este período a ótica começou a se desenvolver e foram realizadas as primeiras observações sobre eletricidade estática e magnetismo*. Contudo tais problemas, por sua natureza e importância es pecífica, tinham um significado secundário, de tal forma que sua in vestigação e desenvolvimento matemático (com exceção de certas leis da ótica geométrica, importantes para a construção de instrumentos óticos) ficaram defasados em relação à mecânica.

No que diz respeito à ótica, o principal impulso para o seu desenvolvimento está relacionado com os problemas técnicos vitais para a navegação marítima**.

Comparando os principais problemas técnicos com os temas que dominavam a física desse período, chegamos à conclusão de que esses temas eram determinados principalmente pelas tarefas econômicas e técnicas que interessavam à nascente burguesia.

Durante o período do capital mercantil, o desenvolvimento das forças produtivas exigiu da ciência uma série de tarefas práticas.

A ciência oficial, centrada na universidade medieval, não apenas deixou de tentar a realização dessas tarefas, mas se opôs ativamente ao desenvolvimento das ciências naturais.

Nos séculos XV, XVI e XVII, as universidades eram os centros científicos do feudalismo. Elas eram centros das tradições feudais e defensoras ativas dessas tradições. (...)

(...) O sistema pedagógico nas universidades medievais era um sistema escolástico fechado, onde não havia lugar para as ciências naturais. Por exemplo, em Paris, em 1355, a geometria de Euclides era ensinada apenas nas férias.

*As investigações sobre o magnetismo desenvolveram-se por influência direta do estudo do desvio provocado na bússola pelo campo magnético terrestre, observado pela primeira vez durante as grandes expedições marítimas. Gilbert deu muita atenção aos problemas do magnetismo terrestre.

**Durante este período a ótica se desenvolveu através do estudo do telescópio.

Os principais manuais de "ciência natural" eram os livros de Aristóteles, dos quais todos os conteúdos vitais haviam sido removidos. Mesmo a medicina era ensinada como uma ciência lógica e a ninguém era permitido estudá-la sem que houvesse estudado lógica por três anos. (...)

(...) Tudo o que não fosse encontrado em Aristóteles simplesmente não existia.

Quando Kircher, no início do século XVII, sugeriu a um certo professor jesuíta provinciano que olhasse através do telescópio as novas manchas solares recentemente descobertas, o jesuíta retrucou: "É inútil, meu filho. Eu li todo o Aristóteles duas vezes e não encontrei nele nada sobre manchas solares. Não existem tais manchas solares. Elas surgem devido a imperfeições de seu telescópio ou a defeitos de seus olhos".

Quando Galileu inventou o telescópio e descobriu as fases de Vênus, as companhias mercantis interessaram-se pelo seu telescópio, que era superior aos fabricados na Holanda, enquanto os filósofos da universidade escolástica recusavam-se sequer a ouvir falar sobre esses novos fatos.

"Nós devemos sorrir, Kepler", Galileu escreveu amargamente em 19 de agosto de 1610, "da grande estupidez dos homens. O que podemos dizer dos primeiros filósofos dessa escola, os quais com a obstinação de uma víbora, a despeito dos convites um milhão de vezes repetidos, não querem dar uma olhada nos planetas ou na lua, ou mesmo no próprio telescópio? De fato, os olhos desses homens estão fechados para a luz da verdade. Embora espantoso, isso não me surpreende. Este tipo de pessoa pensa que a filosofia é uma espécie de livro... que a verdade não deve ser procurada no mundo, nem na natureza, mas na análise de textos." (...)

(...) A ciência floresceu gradualmente com o desenvolvimento e ascensão da burguesia. O desenvolvimento da indústria burguesa necessitava da ciência para a investigação das propriedades dos corpos materiais e das formas através das quais as forças da natureza se manifestam.

Até aquela época, a ciência tinha sido uma humilde serva da Igreja e não lhe tinha sido permitido ultrapassar os limites por ela estabelecidos.

A burguesia precisou da ciência e a ciência cresceu, então, junto com a burguesia, apesar da Igreja (Engels). (...)

(...) A burguesia em ascensão colocou a ciência natural a seu serviço, a serviço do desenvolvimento das forças produtivas. Sendo, então, a classe mais progressista, requeria também a ciência mais

progressista. A revolução inglesa deu um forte impulso ao desenvolvimento das forças produtivas. Com isso, surgiu a necessidade não somente de resolver empiricamente problemas isolados, mas também de empreender uma revisão sistemática e construir uma sólida base teórica para a solução, através de métodos gerais, do conjunto de problemas físicos colocados pelo desenvolvimento de novas técnicas.

E uma vez que esses problemas eram fundamentalmente de mecânica, essa sistematização enciclopédica dos problemas físicos equivalia, na prática, à criação de uma estrutura harmônica para a mecânica teórica.

A realização desse empreendimento coube a Newton. O próprio título de sua mais importante obra indica que ele assumiu essa especial tarefa de síntese.

Na introdução do "Principia", Newton chama atenção para o fato de que a mecânica aplicada e a descrição das máquinas simples tinham já sido tratadas por outros e que seu objetivo não era "discutir os vários ofícios (crafts) e resolver problemas particulares, mas discorrer sobre a natureza, sobre os fundamentos matemáticos da física".

O "Principia" de Newton é apresentado numa linguagem matemática abstrata e seria impossível, portanto, encontrar em sua obra referências explícitas às relações entre os problemas por ele resolvidos e as exigências técnicas das quais se derivaram.

Assim como o método geométrico de exposição não corresponde ao método através do qual Newton fez suas descobertas - mas que deveria servir, segundo ele, como uma vestimenta digna para as soluções encontradas por outros meios - também não é possível encontrar, em uma obra de "filosofia natural", referências relativas às "humildes" fontes de sua inspiração.

Procuraremos mostrar que o "núcleo central" do "Principia" consiste exatamente dos problemas técnicos que analisamos anteriormente e que determinaram os temas da pesquisa física daquela época.

Apesar do caráter matemático abstrato de apresentação adotado no "Principia", Newton não era um sábio escolástico desligado da vida mas estava preocupado com os problemas físicos e técnicos de seu tempo.

A famosa carta que Newton escreveu a Francis Aston dá uma idéia bastante clara dos seus interesses técnicos. Essa carta foi escrita em 1669, depois de Newton ter recebido o cargo de professor, exatamente enquanto estava ultimando seu primeiro esboço da teoria da gravitação.

Seu jovem amigo, Aston, deveria partir em viagem por vários

países da Europa e lhe pediu instruções sobre como aproveitar mais razoavelmente essa viagem e, sobretudo, sobre que coisas mereciam a atenção e estudo nos países continentais.

Resumindo brevemente, as instruções de Newton foram as seguintes: estudar cuidadosamente o mecanismo de direção e os métodos de navegação dos navios; examinar atentamente todas as fortalezas a que porventura tivesse acesso, sua forma de construção, sua solidez, seus sistemas de defesa e informar-se sobre a organização militar em geral; estudar as riquezas naturais dos vários países, sobretudo os metais e minerais, informando-se também sobre seus métodos de extração e purificação; estudar os métodos de obter metais a partir de minerais; verificar se em algum lugar da Hungria, Tchecoslováquia ou Bohemia, existiria um rio cujas águas continham ouro, certificando-se também se o método de extração do ouro a partir das águas do rio amalgamando-as com mercúrio ainda era secreto ou se, ao contrário, era já de conhecimento geral. Na Holanda, há pouco tempo havia sido instalada uma fábrica de polimento de vidro: deveria ir visitá-la. Deveria procurar apreender de que maneira os holandeses protegiam suas naveas da corrosão durante as longas viagens para a Índia. Deveria descobrir se o relógio de pêndulo tinha alguma utilidade para medir longitudes em alto-mar. Os métodos de transformar um metal em outro, como por exemplo o ferro em cobre ou qualquer metal em mercúrio, mereciam sem dúvida atenção e estudo. Nas minas de ouro e prata de Chemnitz, na Hungria, dizia-se existir um método de transformar ferro em cobre, dissolvendo o ferro em ácido sulfúrico e fazendo sucessivas ebulições de cujo resfriamento obtinha-se cobre. Vinte anos antes, o ácido que possuía essa nobre propriedade tinha sido importado para a Inglaterra, mas atualmente não era mais possível obtê-lo: verificar se agora preferiam utilizá-lo eles mesmos com o objetivo de transformar o ferro em cobre, para vendê-lo.

As últimas instruções, relativas ao problema da transformação dos metais, ocupam quase a metade dessa longa carta.

Isso não deve surpreender. A época de Newton era ainda muito rica em investigações de alquimia. Os alquimistas são representados comumente como uma espécie de magos em eterna procura da pedra filosofal. Mas a alquimia estava, na verdade, bastante relacionada à produção de bens: o mistério que envolvia os alquimistas não deveria fazer perder de vista a verdadeira natureza de suas pesquisas. (...)

(...) Ao examinarmos o círculo de interesses brevemente delineados na carta acima, não teremos nenhuma dificuldade em notar que ele abrange quase todo o conjunto de problemas colocados pelas

exigências técnicas de seu tempo, relativo ao transporte, comércio, indústria e questões militares.

Vamos analisar agora o conteúdo do "Principia" e ver que inter-relações existem entre esse conteúdo e os temas da pesquisa em física daquela época.

Os fundamentos metodológicos e teóricos da mecânica são apresentados nas definições, axiomas ou leis do movimento.

No primeiro livro é feita uma exposição detalhada das leis gerais do movimento de corpos sujeitos à ação de forças centrais. Desse modo, Newton fornece uma abordagem preliminar dos princípios gerais da mecânica, tal como Galileu havia iniciado.

As leis Newtonianas fornecem um método geral para a solução da maior parte dos problemas de mecânica.

O segundo livro é dedicado ao movimento dos corpos, tratando de alguns problemas relacionados aos temas que já enumeramos. As três primeiras seções são dedicadas ao problema do movimento dos corpos num meio resistente, tratando de vários casos de dependência da resistência com a velocidade (resistência linear, resistência proporcional ao quadrado da velocidade, resistência proporcional à raiz quadrada da velocidade).

Os problemas apresentados e resolvidos por Newton são de importância fundamental para a balística extrínseca, cujo desenvolvimento estava intimamente ligado ao da artilharia pesada.

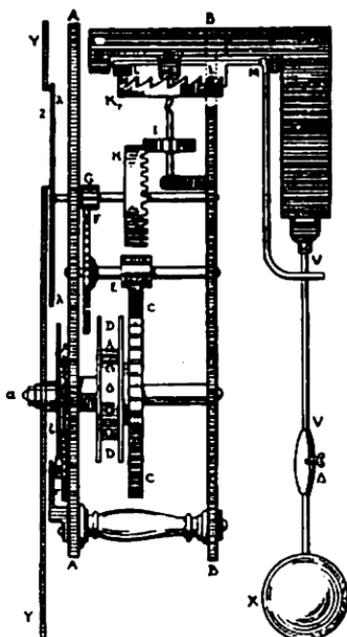
A quinta seção do segundo livro é dedicada aos fundamentos da hidrostática e aos problemas de corpos flutuantes. Essa mesma seção trata da pressão dos gases e da compressão de gases e líquidos submetidos a pressões.

Na análise dos problemas técnicos decorrentes da construção de navios, canais, bombas d'água e sistemas de ventilação, havíamos observado que os argumentos físicos desses problemas estavam relacionados aos fundamentos da hidrostática e aerostática.

A sexta seção trata do problema do movimento do pêndulo em um meio resistente.

As leis que governam a oscilação do pêndulo matemático e do pêndulo físico no vácuo foram estabelecidas por Huygens, em 1673, e foram por ele aplicadas na construção de relógios de pêndulo.

Na carta que Newton escreveu a Aston, vimos a importância do relógio de pêndulo para a determinação de longitudes. A aplicação do relógio para medidas de longitude conduziu Huygens à descoberta da força centrífuga e da variação da aceleração da força da gravidade.



O relógio de Huygens, ilustração extraída da sua obra, "Horologium Oscillatorium"^{II} (Paris, 1673).

Quando o relógio de pêndulo foi transportado de Paris a Caen, por Riche, em 1673, e apresentou um movimento retardado, Huygens estava logo em condições de explicar que o fenômeno se devia à variação da aceleração gravitacional. A importância que o próprio Huygens atribuía ao relógio pode ser evidenciada pelo título que deu a sua principal obra: "Horologium Oscillatorium".

O trabalho de Newton prossegue nessa mesma direção. Da mesma forma que passou do caso matemático do movimento dos corpos num meio de resistência linear ao estudo de um caso real de movimento, também passou do pêndulo matemático ao caso real do movimento de um pêndulo num meio resistente.

A sétima seção do segundo livro é dedicada ao problema do movimento dos líquidos e ao da resistência de projéteis.

Nela são considerados problemas de hidrodinâmica entre os quais o fluxo de água através de tubos. Esses problemas são importantes na construção de canais e eclusas e no projeto de equipamentos de bombeamento de água.

Nesta mesma seção são estudadas as leis que governam a que-

da de corpos num meio resistente (ar ou água). Como sabemos, esses problemas são importantes para a determinação da trajetória tanto de um corpo arremessado como de um projétil.

O terceiro livro do "Principia" é dedicado ao "Sistema do Mundo". Nele são tratados os problemas referentes ao movimento dos planetas, o movimento da lua e suas anomalias, a aceleração da força gravitacional e suas variações, em relação ao problema das alterações do movimento dos relógios nas viagens marítimas e ao problema das marés.

Antes da invenção do cronômetro, o movimento da lua era de fundamental importância na determinação de longitudes. Newton retomou mais de uma vez esse problema (em 1691). O estudo das leis do movimento lunar era de enorme interesse para a compilação de tabelas exatas que permitissem a determinação de longitudes, tanto que o "Conselho de Longitudes" inglês instituiu um prêmio para trabalhos sobre o movimento lunar.

Em 1713, o Parlamento inglês aprovou um projeto de lei especial para estimular pesquisas no âmbito da determinação de longitudes. E Newton era um dos eminentes membros dessa comissão parlamentar.

Como observamos na análise da sexta seção, o estudo do movimento do pêndulo iniciado por Huygens era de grande importância para a navegação; em consequência, no terceiro livro Newton trata do problema do pêndulo composto e analisa o movimento dos relógios durante um certo número de expedições oceanográficas: a expedição de Halley a Santa Elena, em 1677; a viagem de Varenne e Hais à Martinica e Guadalupe, em 1682; a viagem de Couple a Lisboa; uma expedição às Américas, em 1700.

Ao analisar a causa das marés, Newton examina a altura do fluxo da maré em diversos portos e estuários de rios, discutindo o problema da altura desse fluxo em função das condições locais dos portos e das formas de fluxo.

Esse breve perfil do "Principia" mostra a completa coincidência entre as temáticas físicas da época, que emergiam de exigências econômicas e técnicas, com os principais argumentos do "Principia", que se constituem numa verdadeira resenha e solução sistemática do conjunto de problemas físicos mais relevantes. E uma vez que todos esses problemas eram problemas de mecânica, fica claro porque a principal obra de Newton foi uma investigação geral sobre a mecânica celeste e terrestre.