

Átomos Para o Desenvolvimento

Cabo
JOSE ALVES PAULINO
8.º GAAAe
Candidato ao vestibular
de Física, em 1973

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da ciência do átomo foi marcado, desde o início, por uma corrida para o controle de armas nucleares.

O segredo atômico deixa de ser privilégio de um único país. Tal fato introduz profundas modificações na apreciação do problema.

Os diferentes aspectos de nosso universo, quer se trate da água, de uma rocha, quer de uma folha de árvore, não são para o físico, senão modalidades diferentes de agrupamentos moleculares. O tecido material, que os forma, é sempre o mesmo e sua trama é constituída de um número astronômico de pequenos átomos, muito pouco diferentes uns dos outros que se reduzem, finalmente, a um número bem restrito de tipos.

O átomo não deve ser considerado como um produto da imaginação científica. Atualmente, já é objeto de experimentação, cujos diversos aspectos, como sejam peso, dimensões, estrutura e energia pouco a pouco vão sendo conhecidos. Hoje descobriram uma nova partícula pela fissão de átomos em máquinas trituradoras gigantescas, chamada meson A_2 . Há três espécies de meson A_2 : positivo, negativo e neutro, dois dos quais — o negativo e o neutro — já parecem com o que os físicos chamam de partículas duplas, isto é, partículas que existem em duas formas, idênticas em tudo, exceto por uma pequena diferença na massa.

Pode ser que essas partículas duplas, como o meson A_2 , tenham dois estados, quer dizer: estado A e estado B. A partícula B estaria ligada à partícula A e não poderia existir sem ela. Quando a par-

tícula A se desintegra — o que acontece muito rapidamente com os mesons — a partícula B poderia deixar também de existir.

O núcleo atômico leva em seu bojo os característicos mais pessoais do átomo, conseqüentemente, a interação próton/nêutron é uma das causas certas da estabilidade dos átomos.

Tem sido de muito êxito até o presente, para explicar muitos dos segredos do átomo.

I — REATORES NUCLEARES

1 — Para pesquisa

Podemos provar facilmente que a atividade de uma substância radioativa decorre de três espécies diferentes de emanações: uma das emanações é carregada positivamente (partículas alfa), outra carregada negativamente (partícula beta) e a terceira é neutra (raios gama). Não são emitidas simultaneamente por todas as substâncias radioativas; as partículas alfa e beta são algumas vezes específicas, ao passo que os raios gama algumas vezes acompanham as partículas alfa ou as partículas beta. A experimentação consiste em provocar estas transformações por meio de um agente externo (energia primária ou ions acelerados), e, em seguida, caracterizar os corpúsculos de explosão segundo seu sinal, sua carga, sua massa e sua velocidade.

Nós, brasileiros, temos o problema da pesquisa, fatalmente, precisamos de auxílio dos países de mais experiência no campo. Esse estudo está sendo feito e espera-se que chegue a bom termo para resolver, de uma vez, essa questão do urânio.

A cisão do urânio pode ser produzida por nêutron lentos ou por nêutrons rápidos. Os nêutrons rápidos produzem a cisão dos dois isótopos mais abundantes do urânio, o U238 e o U235; os nêutrons lentos somente provocam a cisão do U235.

No caso de uma reação em cadeia, um nêutron produz a cisão de um átomo; durante a cisão são emitidos vários outros nêutrons juntamente com a liberação de grande quantidade de energia; estes nêutrons produzem a cisão dos núcleos de urânio vizinhos, e assim por diante. Podemos fazer com que a reação se realize de uma maneira lenta e controlada, usando para isso uma pilha atômica ou um reator nuclear. Se a reação em cadeia se processa de uma maneira rápida e não controlada obtemos uma bomba atômica, cuja capacidade de destruição é milhares de vezes superior às das bombas anteriormente existentes.

Os princípios da construção, operação e controle de um reator constituem um capítulo atraente da moderna física aplicada. Con-

sumiria muito espaço o entrar em detalhes sobre as seguintes aplicações de um reator nuclear:

- 1 — Produzir o elemento plutônio a partir do U238 para uso como explosivo;
- 2 — Produzir feixe de nêutrons de alta intensidade para estudos de bombardeios nucleares;
- 3 — Produzir isótopos radioativos artificiais para uso na medicina e pesquisa na biologia;
- 4 — Produzir potência para acionamento de navios, submarinos e, possivelmente, aviões.

2 — Para a produção de energia elétrica

A eletricidade compõe-se de elétrons. Como cada elemento radioativo emite elétrons, o átomo que se desintegra é uma bateria elétrica da menor escala, mas até hoje não se conseguiu conduzir os elétrons centrifugados sob forma de eletricidade economicamente aproveitável. Já nos primeiros tempos da pesquisa do rádio, tentou-se usar este como ponte direta de eletricidade, mediante a colocação de preparados radioativos em esferas metálicas a vácuo. Obtinha-se assim carga suficiente nas superfícies das esferas, mas a condução da tensão é difícil.

Pode-se também obter eletricidade de metais radioativos dirigindo-se a radiação contra cristais de germânio ou de silício. O embate dos elétrons expulsa, dos átomos dos cristais, elétrons secundários e estes podem ser conduzidos em corrente. Mas com o atual custo da bateria isolada e as pequenas quantidades de eletricidade obtidas, a corrente é tão cara, que com a mesma importância que seria preciso despender-se para o consumo diário de eletricidade atômica duma lâmpada de escrivadinha, poderíamos deixar a lâmpada acesa durante um ano, ligada a nossa rede de energia elétrica comum.

A obtenção de energia elétrica de materiais atômicos constitui em si um empreendimento duvidoso. Há fontes de energia tão grandes neste nosso planeta ainda inaproveitadas, e que provavelmente num futuro não muito remoto irão suprir a humanidade tão generosamente com eletricidade, que para a obtenção de energia elétrica possivelmente não se recorrerá a atalhos tão extravagantes como o é a retenção da pouca energia fornecida pelos elétrons dos átomos desintegrados.

Eletricidade abundante e realmente barata significa produção de ferro eletroliticamente, obtenção de combustível líquido, através da hidrogenação do carvão, enfim múltiplos outros processos industriais. É difícil afirmar quão barata deve ser a energia elétrica para operar uma radical mudança em nossa economia industrial.

A área da Guanabara é que está com o seu potencial hidro-energético praticamente esgotado. É, portanto, mercado prioritário para um fornecimento de eletricidade de origem nuclear. A implantação, já, de uma central núcleo-elétrica, como ponto de partida para o ingresso de nossa pátria na era nuclear, nova tecnologia, não é pressa, é diligência. A primeira Central Nuclear do Brasil de 500MWe, deverá entrar em funcionamento em 1976. A partir desta data, até 1980, impõe-se a construção de mais três unidades de 500MWe.

3 — Para a produção de isótopos

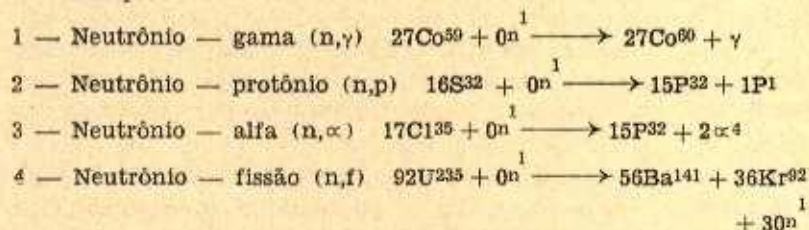
Devido à importância crescente dos radioisótopos em medicina, na indústria e na pesquisa, tem-se concentrado grande esforço no aperfeiçoamento das técnicas de produção e purificação dos mesmos.

As maiores fontes são átomos bombardeados com feixes emitidos pelos aceleradores de partículas, ou neutrônios de reatores, e os produtos de fissão resultantes do consumo dos combustíveis nucleares. Alguns radioisótopos ocorrem naturalmente e sua produção restringe-se à mineração e processo extrativo.

Recentemente os reatores nucleares fornecem os feixes de neutrônios com intensidade suficiente (cerca de 10^{20} neutrônios/cm²s), para produzir quantidades maiores de radioisótopos.

A maioria dos radioisótopos produzidos no reator segue uma das reações seguintes:

Exemplo:



Pela reação (1) são produzidos elementos importantes como Na²⁴; Fe⁵⁹; Co⁶⁰; Au¹⁹⁸, os materiais não radioativos de grande pureza, em quantidades variáveis de poucos miligramas a várias centenas de gramas, são fechados em latas de alumínio e colocados dentro do reator.

O tempo de irradiação varia com a quantidade do material, o fluxo de neutrônios e a meia vida do radioisótopo formado! Os produtos de fissão constituem grupo muito importante de radioisótopos. Os atuais reatores de nêutrons lentos transmutam apenas alguns dos elementos leves em proporções convenientes.

Um isótopo, para ser inteiramente útil, deveria ter um período de semidesintegração superior a 30min, e preferivelmente muito mais longo do que este. Além disso, suas radiações deveriam ser suficientemente energéticas para assegurar detecção fácil.

4 — Para dessalinização da água do mar

Ao desenvolvimento da energia nuclear associam-se três outras tecnologia importantes — agricultura, dessalinização e produção eletrolítica do hidrogênio.

Uma boa colheita de trigo exige abundância de água e de fertilizantes nitrogenados. A dessalinização da água do mar e a produção de nitrogênio eletrolítico (e daí a amônia), avançando a velocidade surpreendente, abrem perspectivas promissoras.

A associação desses três elementos, representa significativa promessa de aumento na produção de alimentos.

Teceremos breves considerações sobre o uso de reatores para dessalinizar a água do mar, pelo que isto pode representar para a região Nordeste e sobre o que poderá significar em futuro não muito remoto, para toda a América Latina. O Programa Plowshare, que visa avallar a facilidade da utilização de explosivos nucleares, para escavações em larga escala.

O trabalho termodinâmico requerido para a extração de 1.000 galões de água fresca do oceano é de, aproximadamente, 3kWh. Considerando-se um rendimento térmico de / 30%, ter-se-ia uma quantidade de calor da ordem da 30.000 BTU, (British Thermal Unit).

No atual estágio do desenvolvimento, com os modernos evaporadores, a produção de 1.000 galões de água fresca exige 1 milhão de BTU (British Thermal Unit).

O rápido avanço tecnológico coloca-nos em expectativa otimista. Os tubos canelados, desenvolvidos pela General Electric, permitem esse rendimento térmico três vezes superior ao obtido com os tubos lisos convencionais. Além disso, na destilação associada, o evaporador central principal emprega tubos verticais e somente a água de alimentação da máquina é aquecida por estágios relâmpagos de evaporação, o que é mais econômico que a destilação relâmpago convencional.

II — USO DE RADIOISÓTOPOS

5 — Na Medicina e Biologia

Já foi dito uma vez que, de todas as aplicações possíveis à energia atômica a mais importante e de maior utilidade para a humanidade é, sem dúvida alguma, a descoberta e o uso dos isótopos

radioativos e não radioativos. Os isótopos radioativos são utilizados principalmente em dois tipos de aplicações:

1 — Substituto do rádio como fonte de radiação; é o caso da medicina, que usa esse tipo de aplicação para o tratamento de algumas doenças.

2 — Como traçador, pois, devido a sua radioatividade, o isótopo pode ser perfeitamente seguido nas mais complicadas reações químicas ou ciclos biológicos; é o que acontece no estudo da formação do sangue, da ação de hormônios no corpo humano. Uma das mais interessantes aplicações dos isótopos é a que a Arqueologia descobriu para o carbono (C14). Em resultado, todos os seres vivos devem ter uma certa quantidade de C14. Devido à constante troca do CO₂ com a atmosfera, a quantidade de C14 deve permanecer constante durante toda a vida do ser, terminando com a morte.

Vêm sendo aplicados no estudo dos sistemas enzimáticos da célula viva, os isótopos estáveis e radioativos dos elementos mais encontrados na matéria viva: carbono radioativo (C14), nitrogênio pesado (N15), fósforo radioativo (P32), o hidrogênio pesado ou deutério. A utilidade dessas substâncias reside no fato de reagirem quimicamente da mesma maneira como fazem os elementos normais, mas podem ser identificados e distinguidos destes últimos por métodos analíticos bastante sensíveis. Também para a Biologia e a Medicina começou a era atômica.

Utilização dos raios gama. Pela escolha de um preparado devidamente graduado, seria possível, outrossim, destruir no corpo tecidos mórbidos e, talvez, úlceras, inserindo no foco mórbido um preparado de curta duração. Radiação fraca não mata, mas estimula.

Pela aplicação de pequenas doses de isótopos radioativos é possível estimular tecidos de funcionamento deficiente, como a medula dos ossos produtora de sangue, glândulas hormonais como a tireóide, as glândulas mamilares e sexuais. Todas essas promissoras aplicações acham-se ainda no estágio experimental, sem acusar, até hoje resultados sensacionais. Em centenas de locais de pesquisas trabalham-se com isótopos radioativos em questões que dizem respeito ao corpo humano e que são importantes para a medicina e higiene.

O iodo radioativo é relativamente inofensivo, pois sua radioatividade é curta e se concentra quase exclusivamente na tireóide. O sódio radioativo, no entanto, mantém-se sob forma de sal no plasma sanguíneo e radia durante anos. Um isótopo radioativo é tanto mais perigoso, quando mais forte seja sua radiação e quanto mais durar esta radiação.

Os raios beta são os menos inofensivos; mas sem dúvida os mais perigosos são as radiações verdadeiras, os raios gama que por serem curtos e de energia correspondente, penetram profundamente no corpo, provocando o desequilíbrio da estrutura atômica.

6 — Na Engenharia Civil

O homem tem uma potencialidade imensa. Utilizar a energia nuclear é uma questão estritamente tecnológica. Ela só pode ser utilizada em certas condições. A explosão nuclear não é uma coisa que por si mesma remove terras, que custa menos ou pode ser utilizada em qualquer lugar. Um plano deve existir para os processos normais e então comparar quando e como pode ser utilizada a explosão nuclear. Não há dúvida de que com a evolução se consigam resultados excelentes, sem os prejuízos de hoje.

As aplicações na medicina, indústria e agricultura permitem dispor de métodos modernos para o ataque de muitos problemas e abrem amplas perspectivas de aplicações múltiplas, principalmente pelo emprego do radioisótopo, no estudo de materiais, engenharia e estudo de máquinas girantes pelo desgaste de peças.

7 — Na Agricultura e Pecuária

Carbono radioativo C^{14} e o hidrogênio pesado H^2 , nos irão revelar como de água e gás carbônico se formam os diversos açúcares, gorduras e óleos, como dos fragmentos dos açúcares em combinação com grupos de nitrogênio se formam aminoácidos que são os elementos básicos da albumina. Pouca coisa compreendemos até aqui, mas, deixa-se um bicho da seda comer as folhas da amoreira infetadas com átomos radioativos. De barriga cheia, ele irá tecer seu casulo. Nos fios do casulo são encontradas as moléculas de albumina, em cuja constituição encontra-se o átomo radioativo.

As pesquisas para saber-se como plantas, lagartas e outras criaturas produzem açúcar, gorduras, albumina, têm grande significado prático.

Alguns isótopos, como o artificial cobalto radioativo, têm uma radiação devastadora. Cogita-se em dá-lo aos porcos um dia antes da matança. Seus raios gama matam as larvas de triquinas que possivelmente estão alojada nos músculos. Como a radiação é de curta duração, a carne é comestível após a quarentena. Naturalmente ainda não está decidido se a estrutura molecular se altera ou se o valor nutritivo diminui.

Tal como a carne do porco, pode-se naturalmente desinfetar qualquer massa mediante a adição de isótopos (radioativos) fortemente radioativos e pode-se calcular que os isótopos radioativos irão talvez substituir os métodos de esterilização até aqui usados, de tal sorte que mediante isótopos de forte radiação mas vigência curta, se possa livrar os navios dos ratos, os quartos de insetos e focos de doenças, sem os complicados processos que atualmente são empregados.

Um campo especial de trabalho constitui a vacinação com isótopos radioativos. Vacinam-se abelhas, seguem-se seus caminhos com Contador Geiger e pode-se assim determinar a eficiência das diversas raças. Ao contrário pode-se, pela estigmatização das flores, verificar quais as flores preferidas pelas abelhas, quais as flores que as abelhas encontram mais rapidamente, como as condições de luz e tempo influenciam as visitas às flores. Pode-se determinar com átomos radioativos, o raio de vôo de mosquitos e moscas, mesmo o vírus, impossível de encontrar, foi acompanhado em suas trilhas escondidas — não é previsível um fim para o emprego detectivesco dos núcleos atômicos radioativos, que se constituem no menor dos instrumentos de pesquisa, um trilhão deles numa gota.

8 — Na Indústria

A indústria procura métodos para produzir alimentos, ao menos as substâncias nutritivas elementares, artificialmente e em quantidades ilimitadas, livres do solo, trabalho da terra e caprichos do tempo. Não há dúvida que ela chegará até lá, iniciando com isto uma das maiores revoluções econômicas na história da humanidade.

Nos estabelecimentos atômicos pacíficos tal como nas fábricas de munições através de instalações engenhosas e rigor na regulamentação da indústria, os perigos estão reduzidos a um mínimo de acidentes profissionais, são tão raros, como em outras indústrias. Todas as instalações dispõem de aparelhos de alarme automáticos, que assinalam imediatamente uma contaminação do ar ou qualquer vazamento que possa ter surgido.

Mais difícil do que a proteção contra as radiações, é a remoção dos detritos radioativos, o lixo atômico.

Só Deus sabe que papel possa vir a desempenhar ainda o Contador Geiger, na ciência, economia, estatística criminal, e, porventura, mesmo na vida particular do cidadão da idade atômica. As usinas atômicas fabricam isótopos radioativos em série, para fins científicos e técnicos. Sendo que esses isótopos são perigosos quando existentes em massa — trata-se de frações de gramas — os respectivos preparados são acondicionados para a expedição com tanto cuidado, que a embalagem pesa cem mil vezes mais do que o conteúdo.

Forte radiação gama faz os cristais, em matérias mortas, tais como vidro ou aço, modificarem a sua estrutura; isto abre curtas perspectivas para a indústria. Os isótopos radioativos na indústria são empregados principalmente na determinação de rachaduras de peças fundidas ou soldadas.

Pode-se na técnica verificar a qualidade e grau de desgaste dos materiais e a periculosidade ou a neutralidade de determinados processos, livre de qualquer apreciação insegura.

A indústria nacional fabrica a maioria dos artigos que antes importávamos, mas começa agora a perceber que os mesmos são obsoletos, em virtude de avanço tecnológico nos países mais desenvolvidos.

9 — Na Preservação de Alimentos

Um preparado de rádio produz quatro emissões, núcleos de hélio, elétrons, vibrações longas = calor, e vibrações curtas = raios gama.

Na presente fase inicial da técnica atômica as substâncias radioativas têm várias aplicações: visa à produção de calor; uma massa radioativa é um calefator ideal, que, sem nenhum combustível de fora, irradia calor através de anos e mesmo séculos; é fato que a primeira instalação técnica, a bateria de urânio serve de forno.

Numerosas substâncias químicas modificam seu caráter sob a influência de raios de ondas curtas.

Cristais transformam os seus agrupamentos de moléculas. O mesmo acontece com os colóides. É provável que, mediante radiação, se possam obter novas substâncias plásticas, novas variedades de aço, novas ligas dotadas de qualidades ainda desconhecidas. A aplicação de raios gama destrói a vida. Se, durante a fabricação, adicionarmos isótopos radioativos e de curta duração aos alimentos e produtos da indústria farmacêutica, os raios gama destroem bactérias e fungos; obtemos, assim, um produto livre de germes, sem recorreremos a um processo especial de esterilização. Sendo que se usa um isótopo radioativo de curta duração — como seja sódio radioativo, cujo meio tempo é de 150 horas — o produto em apreço está isento de radiação, sendo inofensivo quando usado.

É possível, também, que isótopos de curta radiação venham a ser empregados para a desinfecção de navios, casas e solos contaminados.

10 — Na Hidrologia

A água é um dos mais valiosos recursos naturais. O conhecimento da hidrologia é de importância fundamental na solução de todos os problemas que dizem respeito ao fornecimento ou ao uso da água, seja que destino for.

Com o desenvolvimento da civilização e o constante crescimento da população, a rivalidade e a competição pela utilização e controle dos recursos de água têm se desenvolvido e tornado cada vez maior.

Na Hidrologia usam-se vários métodos para a medição da umidade do solo, entre os quais está o método que utiliza emanações de materiais radioativos; esse método tem sido desenvolvido e parece

ter promissoras aplicações práticas. O método baseia-se no fato de que o hidrogênio retarda os nêutrons mais rapidamente do que quaisquer outros elementos comuns, e que a maior parte do hidrogênio do solo está contido na água. O aparelho consiste numa fonte de nêutrons acelerados e um contador de nêutrons retardados. Para um elevado teor de umidade, a contagem de nêutrons retardados será grande enquanto que, para um solo seco, ela será menor. Este método difere dos outros pelo fato de determinar o teor de umidade médio em toda uma camada de mais de 30cm de espessura, em vez do total real de umidade a uma profundidade especificada. A espessura da camada que afeta os resultados varia, de certo modo, com o teor de umidade do solo e com a localização vertical dos instrumentos.

Nos períodos primitivos do desenvolvimento de nosso país, os recursos da água não possuíam a mesma importância que hoje representam, nem tampouco cabe-lhes atualmente o papel proeminente que parecem destinados a desempenhar no futuro.

III — CONCLUSÃO

O Brasil possui condições para, em prazo mais ou menos dilatado, situar-se num dos primeiros grupos: Potências Nucleares Militares ou Cíveis. Temos um pequeno, mas excelente quadro de técnicos e um parque industrial capaz de produzir equipamentos necessários às atividades nucleares.

A decisão de construir a primeira Central Nuclear, no Brasil, resultou de estudos, conjuntamente elaborados pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) e ELETROBRÁS, sob a orientação do M.M.E. (Ministério das Minas e Energia) e do C.S.N. (Conselho de Segurança Nacional).

Sob a égide da Comissão de Energia Nuclear e reunidos no Instituto de Energia Atômica de São Paulo, de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte e de Engenharia Nuclear da Guanabara, bem como em outras organizações, os cientistas brasileiros vêm realizando um trabalho, que tanto tem de anônimo, como de valioso para o país, a despeito da carência de recursos.

É mais fácil e menos perigoso transportar serpentes venenosas do que isótopos radioativos.

Quando devidamente controlados, rigorosamente vigiados e pacificamente aplicados, os isótopos radioativos são um precioso meio de pesquisa e progresso. Tenhamos cuidado. Espalhados em grande número, são uma arma mais terrível que a bomba atômica, porque emitem raios gama, que destroem impiedosamente a vida num vasto circuito, e, conforme o isótopo escolhido, continuam a exercer o seu impacto, por semanas, anos e milênios, sobre a vítima, mesmo depois

que esta já sucumbiu à invisível ofensiva; os próprios cadáveres nos túmulos não gozam de paz em face da invectiva dos isótopos.

Nuvens saturadas de isótopos radioativos, lançados por aviões ou foguetes, são perigosíssimas. Rios por ela infeccionados podem, numa única manhã, envenenar uma cidade inteira e tornar inabitável por decênios a paisagem por onde passam. O ar por eles impregnado não é vento, mas um gás bélico, e a primeira aragem que veicule os isótopos equivale a uma ofensiva em ponto grande. A imaginação não conhece limites — e tampouco os conhece a realidade, infelizmente.

Ai da humanidade em cujo firmamento venham a brilhar nuvens de isótopos radioativos!

Nem cobertores nem oração poderão salvá-la.

IV — BIBLIOGRAFIA

- Blackwood — Osgood — Ruark, Introdução A Física Atômica, Editora Globo, Porto Alegre, RS — 1960, 3.ª edição, pp. 386/390.
- Brater, Ernest F. e Wisler, Chester O. — Hidrologia, Centro de Publicações Técnicas da Aliança, USAID, Impresso por Sociedade Editora e Gráfica Ltda, Rio de Janeiro, 1964, 2.ª edição revista, pp. 1 e 150.
- Chaves, Aureliano — Projeto de Resolução n.º 109, de 1970 — Da Comissão Parlamentar de Inquérito, criada pela Resolução n.º 53, de 1968, Câmara dos Deputados, Brasília, DF.
- Enciclopédia Barsa — Encyclopaedia Britannica Editores Ltda., Rio de Janeiro, São Paulo, 1966, p. 333b, vol. XI.
- Enciclopédia Bloch, Editora Bloch, Rio de Janeiro, "In Universo" n.º 49, Ano 4, maio de 1971, p. 71.
- Enciclopédia Brasileira Globo, Editora Globo, Porto Alegre, 11.ª edição, 1.ª impressão, 1969, p. 3458, vol. IV.
- Kahn, Fritz — O Atomo, Edições Melhoramentos, São Paulo, 8.ª edição, pp. 167/189.
- Thibaud, Jean — Vida e Transmutação dos Atomos, Sociedade Editora e Gráfica Ltda, Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1959, 4.ª edição revista, pp. 7/14.
- Victor Civita, Conhecer, "In átomo", Abril Cultural, São Paulo, n.º 5, pp. 70/72, s/d.
- Zemansky e Sears — Física Gráfica Editora Técnica S.A., Rio de Janeiro, 2.ª reimpressão, 1965, pp. 1072/1089, vol. III.

Obs.: Este trabalho foi revisto pelos seguintes professores:

Português — Prof. José Servo Rocha.

Física — Prof.ª Neuman Carvalho.

Química — Prof.ª Maria Luzia.

Biologia — Prof. Reginaldo Rabello.