

Introdução à Física Nuclear e de partículas Elementares

Petrucio Barrozo



São Cristóvão/SE
2012

Introdução à Física Nuclear e de Partículas Elementares

Elaboração de Conteúdo

Andrei Smirnov

Capa

Hermeson Alves de Menezes

Copyright © 2012, Universidade Federal de Sergipe / CESAD.
Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização por escrito da UFS.

FICHA CATALOGRÁFICA PRODUZIDA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Smirnov, Andrei
S641i Introdução à Física Nuclear e de Partículas Elementares /
Andrei Smirnov. -- São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe,
CESAD, 2012.

1. Física nuclear. 2. Energia nuclear. 3. Spin nuclear.
4. Reações nucleares. I Título.

CDU 539.1

Presidente da República

Dilma Vana Rousseff

Chefe de Gabinete

Ednalva Freire Caetano

Ministro da Educação

Fernando Haddad

Coordenador Geral da UAB/UFS**Diretor do CESAD**

Antônio Ponciano Bezerra

Diretor de Educação a Distância

João Carlos Teatini Souza Clímaco

coordenador-adjunto da UAB/UFS**Vice-diretor do CESAD**

Fábio Alves dos Santos

Reitor

Josué Modesto dos Passos Subrinho

Vice-Reitor

Angelo Roberto Antonioli

Diretoria Pedagógica

Clotildes Farias de Sousa (Diretora)

Núcleo de Serviços Gráficos e Audiovisuais

Giselda Barros

Diretoria Administrativa e Financeira

Edélzio Alves Costa Júnior (Diretor)

Sylvia Helena de Almeida Soares

Valter Siqueira Alves

Núcleo de Tecnologia da Informação

João Eduardo Batista de Deus Anselmo

Marcel da Conceição Souza

Raimundo Araujo de Almeida Júnior

Coordenação de Cursos

Djalma Andrade (Coordenadora)

Assessoria de Comunicação

Edvar Freire Caetano

Guilherme Borba Gouy

Núcleo de Formação Continuada

Rosemeire Marcedo Costa (Coordenadora)

Núcleo de Avaliação

Hérica dos Santos Matos (Coordenadora)

Carlos Alberto Vasconcelos

Coordenadores de Curso

Denis Menezes (Letras Português)

Eduardo Farias (Administração)

Haroldo Dorea (Química)

Hassan Sherafat (Matemática)

Hélio Mario Araújo (Geografia)

Lourival Santana (História)

Marcelo Macedo (Física)

Silmara Pantaleão (Ciências Biológicas)

Coordenadores de Tutoria

Edvan dos Santos Sousa (Física)

Geraldo Ferreira Souza Júnior (Matemática)

Ayslan Jorge Santos de Araujo (Administração)

Priscila Viana Cardozo (História)

Rafael de Jesus Santana (Química)

Gleise Campos Pinto Santana (Geografia)

Trícia C. P. de Sant'ana (Ciências Biológicas)

Laura Camila Braz de Almeida (Letras Português)

Lívia Carvalho Santos (Presencial)

NÚCLEO DE MATERIAL DIDÁTICO

Hermeson Menezes (Coordenador)

Marcio Roberto de Oliveira Mendonça

Neverton Correia da Silva

Nycolas Menezes Melo

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos"

Av. Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze

CEP 49100-000 - São Cristóvão - SE

Fone(79) 2105 - 6600 - Fax(79) 2105- 6474

SUMÁRIO

Aula 1: Propriedades de Núcleos	7
1.1 Começo da Física Nuclear	8
1.2 Notação e Terminologia	9
1.3 Raio do Núcleo	10
1.4 Massa de Núcleos	11
1.5 Conclusão	16
RESUMO	16
PRÓXIMA AULA	18
ATIVIDADES	18
LEITURA COMPLEMENTAR	19
Aula 2: Energia de Ligação e de Separação	21
2.1 Energia de Ligação	22
2.2 Energia de Ligação Média	24
2.3 Energia de Separação	25
2.4 Conclusão	35
RESUMO	35
PRÓXIMA AULA	37
ATIVIDADES	38
LEITURA COMPLEMENTAR	39
Aula 3: Propriedades Elétricas e Magnéticas de Núcleos	41
3.1 Propriedades Elétricas de Núcleos	42
3.2 Spin e Momento Magnético de Núcleos	47
3.3 Paridade	50
3.3.1 Cálculo de Paridade de Núcleos	52

3.3.2 Exemplo	54
3.4 Conclusão	55
RESUMO	55
PRÓXIMA AULA	58
ATIVIDADES	58
LEITURA COMPLEMENTAR	58
Aula 4: Modelos Nucleares	61
4.1 Modelo de Gota Líquida	62
4.2 Modelo de Camadas	69
4.3 Conclusão	75
RESUMO	75
PRÓXIMA AULA	77
ATIVIDADES	77
LEITURA COMPLEMENTAR	78
Aula 5: Decaimento Radioativo 1	79
5.1 A Lei de Decaimento Radioativo	80
5.2 Decaimento Alfa	84
5.3 Conclusão	93
RESUMO	93
PRÓXIMA AULA	95
ATIVIDADES	95
LEITURA COMPLEMENTAR	96
Aula 6: Decaimento radioativo 2	97
6.1 Decaimento Beta	98
6.2 Decaimento Gama	104
6.3 Fissão Espontânea	107

6.4	Conclusão	111
	RESUMO	111
	PRÓXIMA AULA	113
	ATIVIDADES	113
	LEITURA COMPLEMENTAR	114
 Aula 7: Reações Nucleares		 115
7.1	Reações Nucleares	116
7.2	Limiar de Reação	119
7.3	Reação de Fissão em Cadeia	124
7.4	Fusão Nuclear	128
7.5	Conclusão	131
	RESUMO	132
	PRÓXIMA AULA	133
	ATIVIDADES	133
	LEITURA COMPLEMENTAR	134
 Aula 8: Partículas Elementares		 135
8.1	Classificação de Partículas Elementares	136
8.2	Léptons	137
	8.2.1 Exemplos	140
8.3	Hádrons	141
	8.3.1 Estranheza, Charme, Beleza	143
8.4	Modelo de Quarks de Hádrons	146
8.5	Conclusão	151
	RESUMO	151
	PRÓXIMA AULA	152
	ATIVIDADES	153
	LEITURA COMPLEMENTAR	154

Aula 9: Energia e Momento em Reações de Partículas155

9.1	Conservação de Energia e Momento	156
9.2	Limiar de Reação	159
9.3	Exemplos	163
9.4	Conclusão	165
	RESUMO	166
	PRÓXIMA AULA	168
	ATIVIDADES	168
	LEITURA COMPLEMENTAR	169

Aula 10: Teoria e Equipamentos de Estudo de Partículas171

10.1	Modelo Padrão de Partículas Elementares	172
10.2	Aceleradores	174
10.2.1	Aceleradores lineares	175
10.2.2	Aceleradores cíclicos	176
10.2.3	Câmaras de vácuo anulares	179
10.3	Detectores	180
10.3.1	Câmara de Wilson	180
10.3.2	Câmara de bolhas	181
10.3.3	Câmara de faíscas	181
10.3.4	Contador Geiger	182
10.3.5	Câmara de ionização	182
10.3.6	Câmara proporcional multifios	184
10.3.7	Detectores de LHC	184
10.4	Conclusão	190
	RESUMO	190
	ATIVIDADES	192
	LEITURA COMPLEMENTAR	192

Propriedades de Núcleos

1

META:

Apresentar introdução na área de Física Nuclear. Introduzir notação e terminologia usadas na área de Física Nuclear. Discutir raio e massa de núcleos.

OBJETIVOS:

Ao fim da aula os alunos deverão ser capazes de:

Determinar raio de núcleos.

Determinar massa de núcleos em termos de unidades de massa atômica e em unidades de energia.

PRÉ-REQUISITOS

Não tem

1.1 Começo da Física Nuclear

A física nuclear tem como objeto de estudo o núcleo atômico e suas propriedades. Primeiros fenômenos da área da física nuclear foram observados no fim do século XIX e no início de século XX, e são associados com nomes de Anri Beckerel, Pierre e Maria Curie. Em 1896 A. Beckerel trabalhou com sais de urânio e observou que ocorre escurecimento de placas fotográficas quando elas estão próximas aos materiais que contem sais de urânio. Ele observou também que ocorre ionização de ar. Esse fenômeno foi explicado como emissão de algum tipo de raios invisíveis. O efeito foi chamado *radioatividade*, os materiais que possuem essa propriedade foram chamados *radioativos*. Pierre e Maria Curie descobriram radioatividade de tório e extraíram polônio e rádio de sais de urânio.

Ernest Rutherford estudou raios radioativos detalhadamente e determinou que existem três tipos dos raios que foram chamados raios α , raios β , raios γ . Raios β são negativamente carregados elétrons, raios α são partículas positivamente carregadas (mais tarde foi percebido que elas são núcleos de hélio), raios γ não tem carga elétrica e são análogos aos raios X de Roentgen mas são mais duros. Em 1911 E. Rutherford propôs o modelo planetar do átomo que consta que o átomo consiste de núcleo pesado e positivamente carregado em torno do qual se movem elétrons (Figura 1.1). Baseando-se no seu modelo do átomo, E. Rutherford explicou que raios radioativos são produzidos em resultado de processos que ocorrem dentro de núcleos atômicos. Depois da descoberta do nêutron por James Chadwick em 1932 foi estabele-

cido que o núcleo atômico consiste de prótons e nêutrons. Duas dessas partículas, próton e nêutron, foram chamadas *núcleons*. Os símbolos usados para os núcelons são: p para próton e n para nêutron.

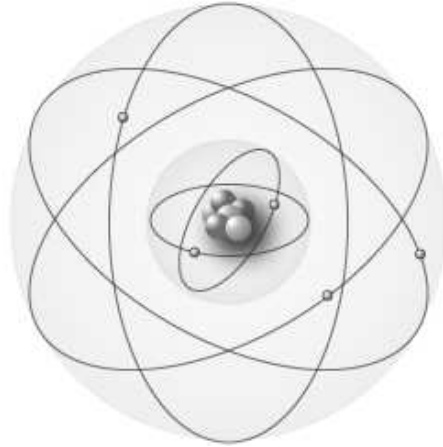


Figura 1.1: Átomo do Rutherford

1.2 Notação e Terminologia

Cada núcleo atômico é caracterizado por números de prótons e nêutrons. Número de prótons é designado por Z que é chamado *número atômico*. Número de nêutrons é designado por N . Número de núcleons no núcleo, que é número total de prótons e nêutrons, é designado por A que é chamado *número de massa*. Então

$$A = Z + N \quad (1.1)$$

e $N = A - Z$. Simbolicamente designaremos um núcelo como

$${}^A_Z X \quad (1.2)$$

onde X é um símbolo de elemento químico com número atômico Z . Por exemplo, núcleos de hidrogênio ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$; núcleos de hélio ${}^4_2\text{He}$, ${}^3_2\text{He}$; núcleo de carbono ${}^{12}_6\text{C}$, núcleo de nitrogênio ${}^{14}_7\text{N}$, núcleo de oxigênio ${}^{16}_8\text{O}$, núcleo de alumínio ${}^{27}_{13}\text{Al}$, núcleo de ferro ${}^{56}_{26}\text{Fe}$; núcleos de urânio ${}^{235}_{92}\text{U}$, ${}^{238}_{92}\text{U}$. As vezes no símbolo de um núcleo é mostrado explicitamente o número de nêutrons N como

$${}^A_Z\text{X}_N \quad (1.3)$$

Por exemplo, ${}^2_1\text{H}_1$, ${}^4_2\text{He}_2$, ${}^{12}_6\text{C}_6$, ${}^{16}_8\text{O}_8$, ${}^{27}_{13}\text{Al}_{14}$, ${}^{56}_{26}\text{Fe}_{30}$.

Núcleos com mesmo número atômico Z chamam-se *isótopos* (${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$ ou ${}^4_2\text{He}$, ${}^3_2\text{He}$), com mesmo número de massa A chamam-se *isóbaros* (${}^{40}_{18}\text{Ar}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$), com mesmo número de nêutrons N , *isótonos* (${}^{13}_6\text{C}$, ${}^{14}_7\text{N}$).

1.3 Raio do Núcleo

No caso de núcleos pesados (que possuem número de núcleons relativamente grande) a forma do núcleo é aproximadamente esférica. Então podemos considerar tal característica de núcleo como o seu raio. Estimação de raio pode ser efetuada nas experiências de espalhamento de partículas por núcleos de um material. Como partículas espalhadoras nas experiências foram usados nêutrons rápidos e elétrons ultrarelativísticos. As experiências mostram que o raio de núcleo pode ser estimado pela fórmula

$$R = r_0 A^{1/3} \quad (1.4)$$

onde r_0 é a constante de raio e A é o número de massa do núcleo. O valor da constante de raio r_0 recebido nas várias experiências varia nos limites $r_0 = (1,1 - 1,5) \cdot 10^{-13}$ cm.

Experiências com espalhamento de elétrons ainda mais rápidos permitem também determinar distribuição da matéria em núcleos.

Densidade ρ da matéria nuclear descreve-se pela fórmula

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \exp[(r - R_0)/\delta]} \quad (1.5)$$

onde r é a distância do centro do núcleo, ρ_0 densidade no caroço do núcleo, R_0 e δ são coeficientes experimentais com valores, $R_0 = 1,08 \cdot 10^{-13} A^{1/3}$ cm, $\delta = 0,55 \cdot 10^{-13}$ cm. O gráfico da distribuição de ρ é mostrado na Figura 1.2. No gráfico é denominada também a característica d que aponta o intervalo onde a densidade ρ diminui de $0,9\rho_0$ a $0,1\rho_0$.

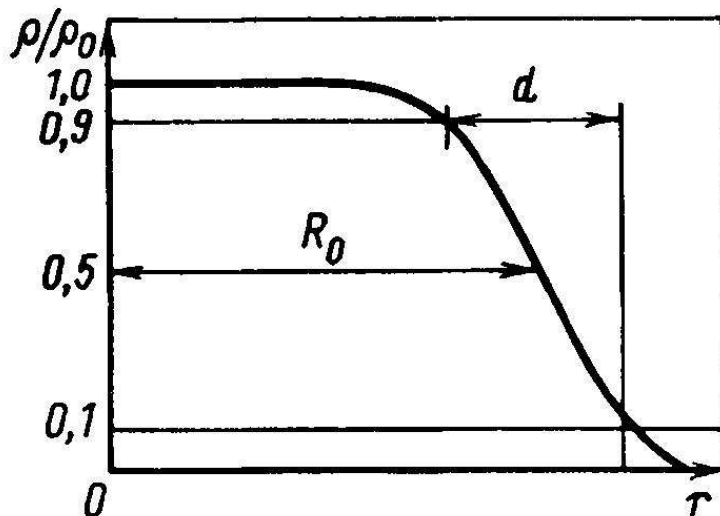


Figura 1.2: Distribuição da densidade ρ da matéria nuclear

1.4 Massa de Núcleos

Primeiramente introduzimos notações de massa usadas na física nuclear. Massa do próton é designada como M_p e massa do nêutron

é designada como M_n . Massa de um núcleo ${}^A_Z\text{X}$ é designada como

$$M ({}^A_Z\text{X}) \quad (1.6)$$

ou sem símbolo X do elemento

$$M (Z, A) \quad (1.7)$$

Na física nuclear para um átomo de elemento químico que possui o núcleo caracterizado por determinados número atômico Z , número de massa A e estado de energia (fundamental ou um dos estados isoméricos) é usado o termo *nuclídeo*. Como nuclídeo é um tipo determinado de átomo, e portanto um sistema neutra, a sua massa é composta da massa do seu núcleo e da massa de todos seus elétrons. Número de elétrons é igual ao número atômico correspondente.

Massa de nuclídeo com número atômico Z , número de massa A é designada como

$$M_{at} ({}^A_Z\text{X}) \quad (1.8)$$

ou

$$M_{at} (Z, A) \quad (1.9)$$

Como a massa de um nuclídeo $M_{at} ({}^A_Z\text{X})$ é composta da massa do seu núcleo $M ({}^A_Z\text{X})$ e da massa de Z elétrons pode-se escrever

$$M_{at} ({}^A_Z\text{X}) = M ({}^A_Z\text{X}) + ZM_e \quad (1.10)$$

então a massa do núcleo é

$$M ({}^A_Z\text{X}) = M_{at} ({}^A_Z\text{X}) - ZM_e \quad (1.11)$$

Em termos de unidades de quilogramas massa do próton é $M_p = 1,672\ 621\ 637 \cdot 10^{-27}$ kg, e massa do nêutron é $M_n = 1,674\ 927$

$211 \cdot 10^{-27}$ kg. Tal que comparando com objetos macroscópicos as massas nucleares são muito pequenas, na física nuclear são usadas unidades de massa mais convenientes. Elas são unidade de massa atômica e unidade de energia. Unidade de massa atômica é designada pelo símbolo "uma" e definida como $1/12$ da massa do átomo de carbono ${}^1_6\text{C}$

$$1 \text{ uma} = \frac{1}{12} M_{at} ({}^1_6\text{C}) \quad (1.12)$$

Unidade de energia recebe-se pela multiplicação da massa do núcleo pelo quadrado da velocidade da luz, Mc^2 . De fato, unidade de energia é a energia do repouso do núcleo. Como a unidade de energia é usada a unidade de elétron-volt, designada pelo símbolo "eV". Na prática são mais aplicados os símbolos keV, MeV, GeV, que significam respetivamente, $1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$, $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$. Relação entre as duas unidades é a seguinte, $1 \text{ uma} = 931,5 \text{ MeV}$, $1 \text{ eV} = 1,0735 \cdot 10^{-9} \text{ uma}$. Também pode ser útil nos cálculos a relação entre unidade de energia do Sistema Internacional de Unidades, joule, e eV, $1 \text{ eV} = 1,602 \ 176 \ 487 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Em termos de unidades de massa atômica e unidades de energia as massas de próton e nêutron têm os valores seguintes, $M_p = 1,00728 \text{ uma} = 938,27 \text{ MeV}$, $M_n = 1,00867 \text{ uma} = 939,56 \text{ MeV}$. Massa de elétron nas várias unidades é $M_e = 9,10938215 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV} = 0,00055 \text{ uma}$.

Para apresentar massas de núcleos na física nuclear também é usada uma quantidade chamada o *defeito de massa* de núcleos. O defeito de massa de um núcleo ${}^A_Z\text{X}$ é designado como $\Delta(Z, A)$ e

definido pela fórmula

$$\Delta(Z, A) = M(Z, A) - A \quad (1.13)$$

onde a massa de núcleo $M(Z, A)$ é apresentada em unidades de massa atômica, uma. Tal que a massa de núcleo é expressa por meio de defeito de massa $\Delta(Z, A)$ como

$$M(Z, A) = \Delta(Z, A) + A \quad (1.14)$$

Os defeitos de massa de próton e de nêutron são designados também como Δ_p e Δ_n , e são respetivamente

$$\Delta_p = \Delta(1, 1) = M_p - 1 \quad (1.15)$$

$$\Delta_n = \Delta(0, 1) = M_n - 1 \quad (1.16)$$

Para núclídeos também é usada a quantidade de defeito de massa. O defeito de massa de núclídeo é definido na maneira semelhante ao defeito de massa de núcleo

$$\delta(Z, A) = M_{at}(Z, A) - A \quad (1.17)$$

Claro que o defeito de massa do núcleo e o defeito de massa do núclídeo são relacionados pela fórmula

$$\Delta(Z, A) = \delta(Z, A) - ZM_e \quad (1.18)$$

Para o defeito de massa do núclídeo de hidrogênio ${}^1_1\text{H}$ é usada também a notação δ_p , que é

$$\delta_p = \delta(1, 1) = M_{at}({}^1_1\text{H}) - 1 \quad (1.19)$$

Para o nêutron é usado símbolo convencional de defeito de massa de núclídeo δ_n , mas de fato

$$\delta_n = \delta(0, 1) = \Delta_n \quad (1.20)$$

pois o nêutron não pode formar um núclideo. Para partícula α é usado símbolo δ_α

$$\delta_\alpha = \delta(2, 4) \quad (1.21)$$

Atualmente massas de todos núclideos são determinadas e podem ser encontradas nas Tabelas de Massas de Núclideos¹. Nas tabelas podem ser apresentadas tanto massas de núclideos quanto os seus defeitos de massas. Na Tabela 1.1 são apresentados os defeitos de massas de alguns núclideos leves em unidades de massa atômica.

Exemplo

Usando Tabela 1.1, determinar massa do núcleo ${}^4_2\text{He}$ em uma e em MeV.

Solução

Combinando as fórmulas (1.14) e (1.18) temos

$$M(Z, A) = \delta(Z, A) + A - ZM_e$$

Então

$$M_\alpha = M({}^4_2\text{He}) = M(2, 4) = \delta(2, 4) + 4 - 2M_e$$

Usando dados da Tabela 1.1 e a massa de elétron $M_e = 0,511 \text{ MeV} = 0,00055 \text{ uma}$, temos

$$M_\alpha = 0.00260 + 4 - 2 \cdot 0.00055 = 4.0015 \text{ uma}$$

Para transformar uma em MeV usamos o fato que $1 \text{ uma} = 931,5 \text{ MeV}$, que dá

$$M_\alpha = 4.0015 \cdot 931.5 = 3727.4 \text{ MeV}$$

¹Massas de núcleos são disponíveis no site

"<http://atom.kaeri.re.kr/ton/index.html>"

Tabela periódica de elementos químicos é disponível no site

"http://pt.wikipedia.org/wiki/Tabela_periódica"

nuclídeo	$\delta = M_{at} - A$	nuclídeo	$\delta = M_{at} - A$
n	0.00867	${}^1_6\text{C}$	0.01143
${}^1_1\text{H}$	0.00783	${}^{12}_6\text{C}$	0
${}^2_1\text{H}$	0.01410	${}^{13}_6\text{C}$	0.00335
${}^3_1\text{H}$	0.01605	${}^{12}_7\text{N}$	0.01861
${}^3_2\text{He}$	0.01603	${}^{13}_7\text{N}$	0.00574
${}^4_2\text{He}$	0.00260	${}^{14}_7\text{N}$	0.00307
${}^6_3\text{Li}$	0.01513	${}^{15}_7\text{N}$	0.00011
${}^7_3\text{Li}$	0.01601	${}^{15}_8\text{O}$	0.00307
${}^7_4\text{Be}$	0.01693	${}^{16}_8\text{O}$	-0.00509
${}^8_4\text{Be}$	0.00531	${}^{17}_8\text{O}$	-0.00087
${}^9_4\text{Be}$	0.01219	${}^{19}_9\text{F}$	-0.00160
${}^{10}_4\text{Be}$	0.01354	${}^{20}_{10}\text{Ne}$	-0.00756
${}^{10}_5\text{B}$	0.01294	${}^{23}_{11}\text{Na}$	-0.01023
${}^{11}_5\text{B}$	0.00930	${}^{24}_{11}\text{Na}$	-0.00903

Tabela 1.1: Tabela de defeitos de massa de nuclídeos leves

1.5 Conclusão

Nesta aula discutimos raio e massa de núcleos.

RESUMO

No resumo dessa Aula constam os seguintes tópicos:

Foi introduzida notação e terminologia usada na área de Física Nuclear: Z é número atômico (número de prótons), N é número de nêutrons, $A = Z + N$ é número de massa. Notação de núcleos tem forma ${}^A_Z\text{X}$ (por exemplo ${}^4_2\text{He}$) ou mais completa ${}^A_Z\text{X}_N$ (por



exemplo ${}^4_2\text{He}_2$).

Núcleos com mesmo número atômico Z chamam-se *isótopos*, com mesmo número de massa A chamam-se *isóbaros*, com mesmo número de nêutrons N , *isótonos*.

Foi apresentada fórmula para determinação de raio de núcleo $R = r_0 A^{1/3}$, onde A é número de massa do núcleo, $r_0 = (1,1 - 1,5) \cdot 10^{-13}$ cm.

Foi introduzido o termo *nuclídeo*, que é um átomo de elemento químico que possui o núcleo caracterizado por determinados número atômico Z , número de massa A e estado de energia. Para massa de núcleos é usada notação $M(Z, A)$ ou $M({}^A_Z\text{X})$. Para massa de nuclídeo é usada notação $M_{at}(Z, A)$ ou $M_{at}({}^A_Z\text{X})$. Massa de nuclídeo é determinada por

$$M_{at}(Z, A) = M(Z, A) + ZM_e$$

onde M_e é massa de elétron.

Unidades de massa usadas na Física Nuclear são unidades de massa atômica, uma, e unidades de energia, MeV. 1 uma = 931,5 MeV.

Foi introduzido o termo de defeito de massa de núcleos

$$\Delta(Z, A) = M(Z, A) - A$$

e o termo de defeito de massa de nuclídeo

$$\delta(Z, A) = M_{at}(Z, A) - A$$

onde massas $M(Z, A)$ e $M_{at}(Z, A)$ são dadas em unidades de massa atômica.

Massas de todos núclídeos estudados são determinados e tabuladas. Tabelas de massas ou defeitos de massa podem ser encontrados nos livros e nas páginas de sítios de internet de grupos de estudos de Física Nuclear.



PRÓXIMA AULA

Em próxima aula discutiremos outra característica importante de núcleos - energia de ligação. Também será introduzida energia de separação de núcleos e discutida estabilidade de núcleos.



ATIVIDADES

ATIV. 1.1. Quais existem raios radioativos? Quais são cargas elétricas deles?

ATIV. 1.2. De quais partículas consiste um núcleo atômico? Quais partículas são núcleons?

ATIV. 1.3. O que é o número atômico e qual é o símbolo dele? O que é o número de massa e qual é o símbolo dele?

ATIV. 1.4. Qual número de prótons e nêutrons nos núcleos ${}^3_1\text{H}$, ${}^3_2\text{He}$, ${}^{27}_{13}\text{Al}$, ${}^{56}_{26}\text{Fe}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$?

ATIV. 1.5. Usando a fórmula para o raio de núcleo $R = r_0 A^{1/3}$, onde $r_0 = 1,3 \cdot 10^{-13}$ cm, A é o número de massa, estimar densidade de núcleos, supondo que matéria nuclear é distribuída uniformemente dentro do núcleo.

ATIV. 1.6. Usando Tabela 1.1, determinar em uma e em MeV as massas do núcleo de: a) ${}^3_2\text{He}$; b) ${}^{12}_6\text{C}$; c) ${}^{16}_8\text{O}$.

LEITURA COMPLEMENTAR



ALONSO, M., FINN, E. J. - Física. Vol. III. Fundo Educativo Interamericano, 1971.

EISBERG, R., RESNICK, R. - Física Quântica. São Paulo, editora Campus, 1983.

PESSOA, E. F., COUTINHO, F. A., SALA, O. - Introdução à Física Nuclear. São Paulo, EDUSP, 1978.

CHUNG, K. C. - Introdução à Física Nuclear. Rio de Janeiro, EdUERJ, 2001.