Física Quântica (BCK0103-15)

aula 13 - 2019

Luciano Cruz
Sala 609 – Torre 3 – Bloco A
luciano.cruz@ufabc.edu.br

Na última aula (19/11/19)

- O átomo de Hidrogênio (coordenadas esféricas);
- Separação de variáveis;
- A quantização de Momento Angular e Energia.

Na aula de hoje (26/11/19)

- Funções de ondas do átomo de Hidrogênio;
- Orbitais; Significado físico dos números quânticos atômicos.
- Imagens, Abstrações e Interpretações.

O que há por vir...

Avaliação 2: Dia 03/12

Turma A2: sala 205-0 das 8 às 10 hs
Turma B2: sala 108-0 das 10 às 12 hs
Os alunos deverão fazer a prova em sua turma e horário correspondentes
Conteúdo: Desde equação de **Schrodinger** até a aula de hoje.

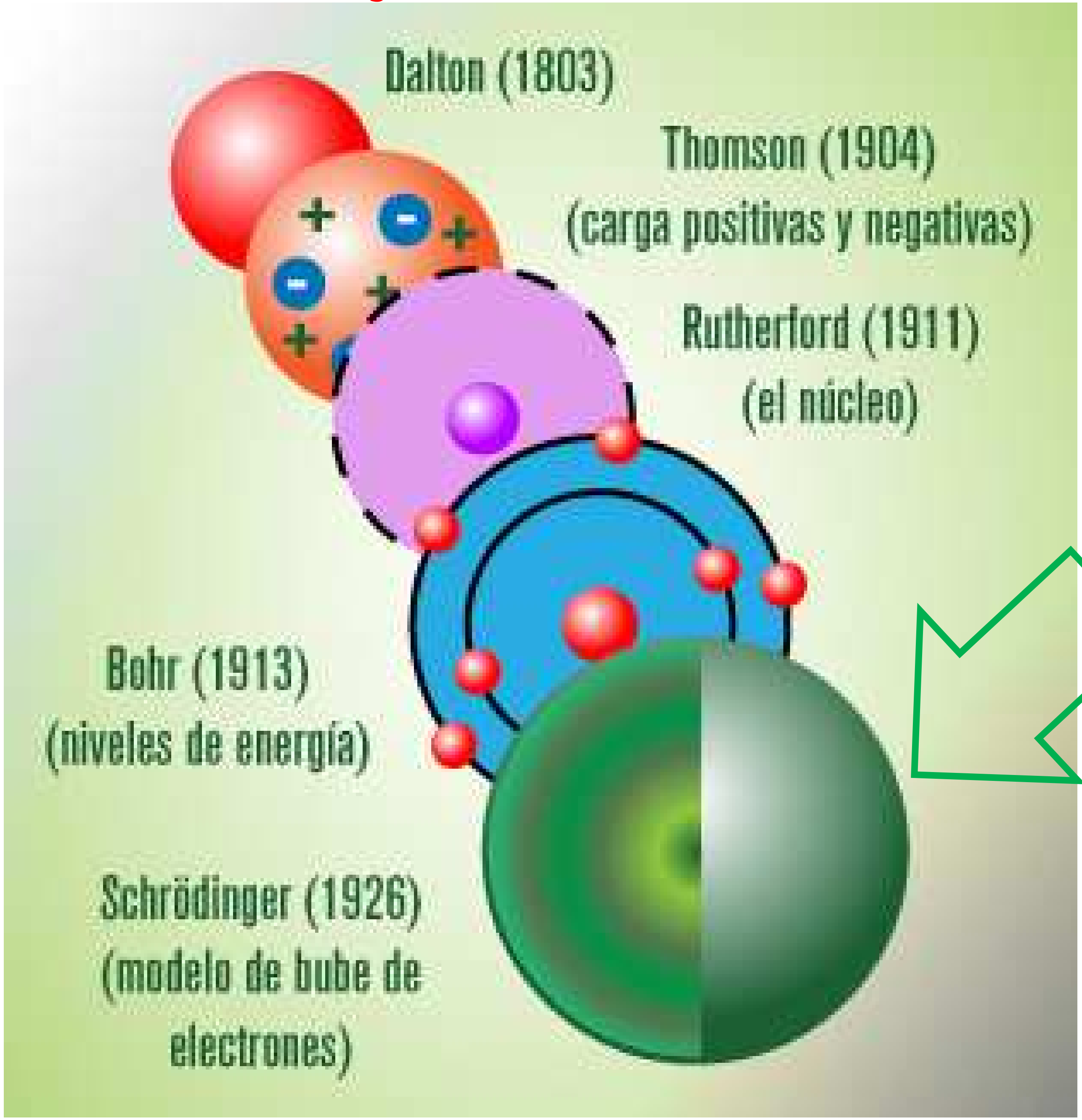
Vistas de Avaliações: **Dia 06/12 (sexta feira)**
Notas serão divulgadas assim que as avaliações estejam corrigidas.
Todas as turmas: sala 609-3 das 14 às 16hs
Obs: Não haverá atendimento dia 05/12 !

Avaliação SUB ou REC: Dia 10/12

Turma A2: sala 205-0 das 8 às 10hs.
Turma B2: sala 108-0 das 10 às 12hs
Os alunos deverão fazer a prova em sua turma e horário correspondentes
(caso precisem mudar, entrar em contato por email).
Conteúdo: Sub 1: mesma matéria da P1; Sub 2: mesma matéria da P2; Rec: toda a matéria

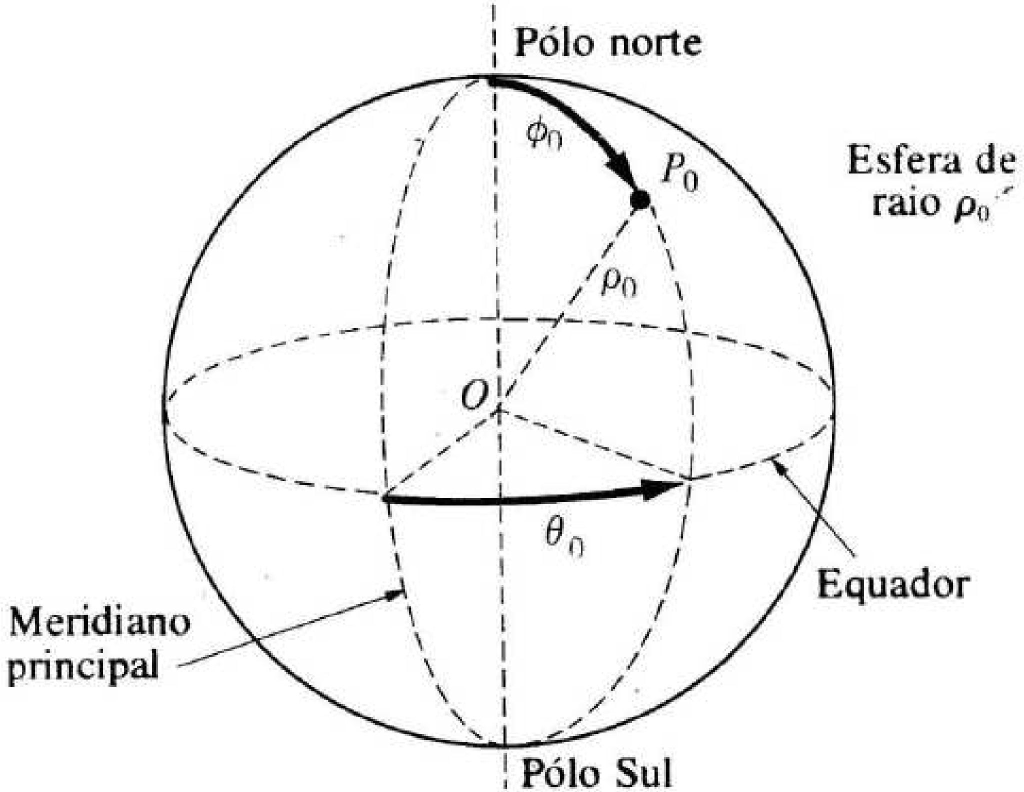
Obs: Alunos que fizerem a SUB e precisarem de REC serão contatados após fechamento dos conceitos, para marcar data da REC em 2020.1

A evolução dos modelos atômicos



A nossa jornada até aqui!

SISTEMA DE COORDENADAS ESFÉRICAS

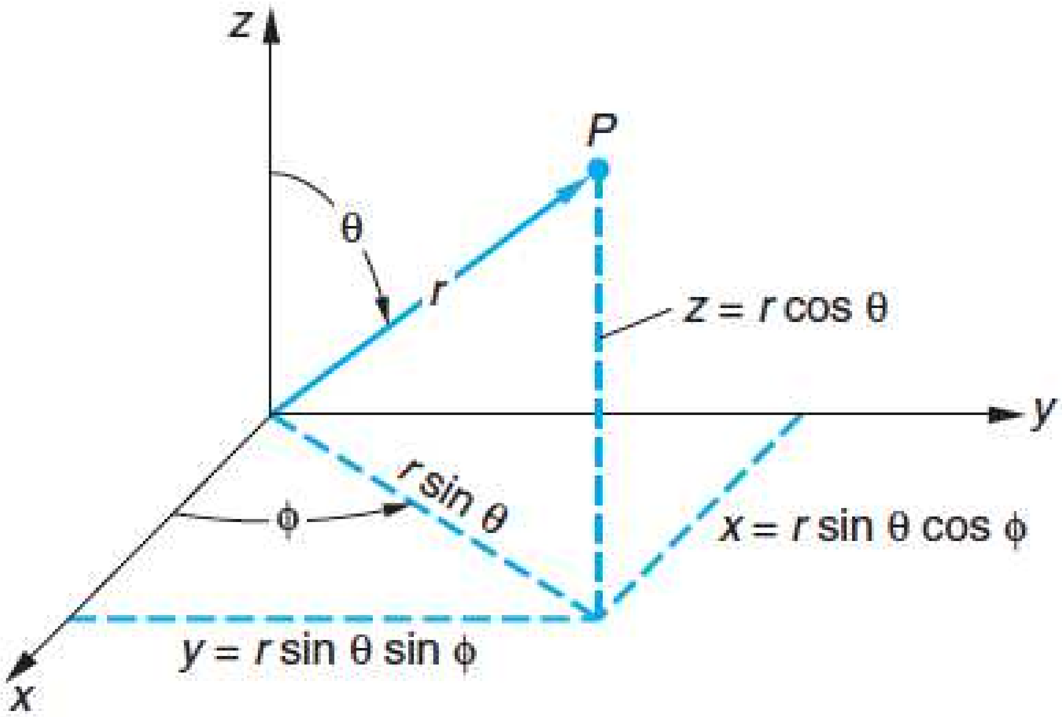


$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$$

$$\Downarrow$$

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 sen\,\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(sen\,\theta\frac{\partial}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2 sen^2\,\theta}\frac{\partial^2}{\partial \phi^2}$$

SISTEMA DE COORDENADAS ESFÉRICAS



Range of variables

Cartesian

$x, y, z: -\infty \rightarrow +\infty$

Spherical

$r: 0 \rightarrow +\infty$

$\theta: 0 \rightarrow \pi$

$\phi: 0 \rightarrow 2\pi$

Equação de Schrodinger (independente do tempo) em coordenadas esféricas:

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)-\frac{\hbar^2}{2\mu r^2}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2}\right]+V(r)\psi=E\psi$$

A equação de Schrodinger (independente do tempo) para o átomo de Hidrogênio em coordenadas esféricas

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu}\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial\psi}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2 sen\,\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(sen\,\theta\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{r^2 sen^2\,\theta}\frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2}\right]$$
$$-\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}\psi(r,\theta,\phi)=E\psi(r,\theta,\phi)$$

O que fazer quando surge uma equação diferencial ordinária de segunda ordem em três variáveis?

Aplicação de métodos matemáticos adequados para obter a solução da equação:

$$\psi(r,\theta,\phi) = R(r)Y(\theta,\phi) \quad Y(\theta,\phi) = \Theta(\theta)\Phi(\phi)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\dfrac{\hbar^2}{2\mu r^2}\dfrac{d}{dr}\left(r^2\dfrac{dR}{dr}\right) + \left[\dfrac{\hbar^2 l(l+1)}{2\mu r^2} - \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} - E\right]R(r) = 0 \\[2ex] \dfrac{sen\,\theta}{\Theta(\theta)}\dfrac{d}{d\theta}\left(sen\,\theta\dfrac{d\Theta}{d\theta}\right) + \beta sen^2\theta = m^2 \\[2ex] \dfrac{1}{\Phi(\phi)}\dfrac{d^2\Phi}{d\phi^2} = -m^2 \end{array} \right.$$

Separação de variáveis e

solução de 3 equações diferenciais de uma variável.

Soluções do Átomo de Hidrogênio

$$\Phi_m(\phi) = A_m e^{im\phi}$$

$$\Theta(\theta) = \left[\frac{2l+1}{4\pi}\frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}\right]^{1/2} P_l^{|m|}(\cos\theta)$$

(Polinômios de Legendre)

$$R_{nl}(r) = -\left\{\frac{(n-l-1)!}{2n[(n+l)!]^3}\right\}^{1/2}\left(\frac{2}{na_0}\right)^{l+3/2} r^l e^{-r/na_0} L_{n+l}^{2l+1}\left(\frac{2r}{na_0}\right)$$

(Polinômios de Laguerre)

$$\boxed{m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots, \pm l \qquad 0 \leq l \leq n-1 \qquad n = 1, 2, \ldots}$$

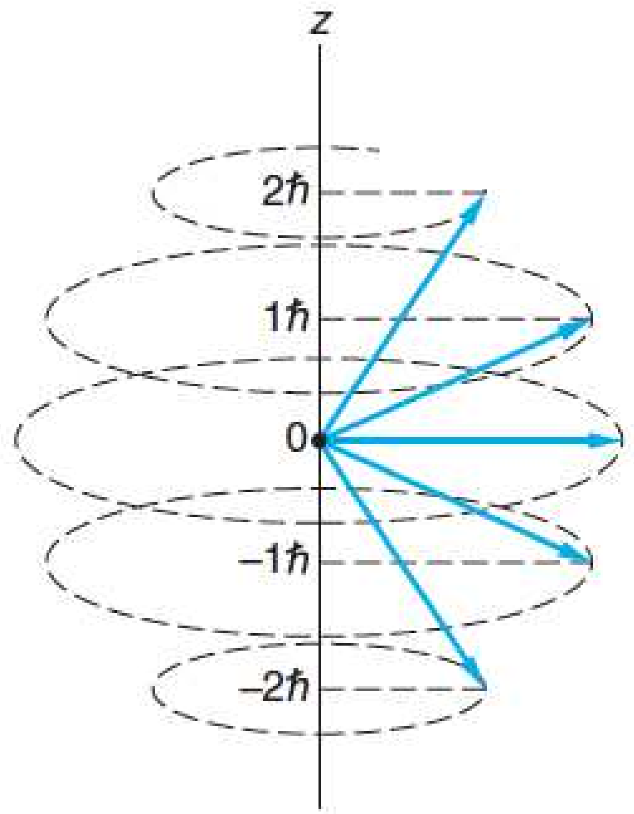
$$Y_{lm}(\theta,\varphi) = f_{lm}(\theta)\, g_m(\varphi)$$

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$$

Table 7-1 Spherical harmonics

$\ell = 0$	$m = 0$	$Y_{00} = \sqrt{\frac{1}{4\pi}}$
$\ell = 1$	$m = 1$	$Y_{11} = -\sqrt{\frac{3}{8\pi}} \sin\theta\, e^{i\phi}$
	$m = 0$	$Y_{10} = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos\theta$
	$m = -1$	$Y_{1-1} = \sqrt{\frac{3}{8\pi}} \sin\theta\, e^{-i\phi}$
$\ell = 2$	$m = 2$	$Y_{22} = \sqrt{\frac{15}{32\pi}} \sin^2\theta\, e^{2i\phi}$
	$m = 1$	$Y_{21} = -\sqrt{\frac{15}{8\pi}} \sin\theta \cos\theta\, e^{i\phi}$
	$m = 0$	$Y_{20} = \sqrt{\frac{5}{16\pi}}(3\cos^2\theta - 1)$
	$m = -1$	$Y_{2-1} = \sqrt{\frac{15}{8\pi}} \sin\theta \cos\theta\, e^{-i\phi}$
	$m = -2$	$Y_{2-2} = \sqrt{\frac{15}{32\pi}} \sin^2\theta\, e^{-2i\phi}$

$$|\mathbf{L}| = L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\hbar \quad \text{for} \quad \ell = 0, 1, 2, 3, \ldots$$



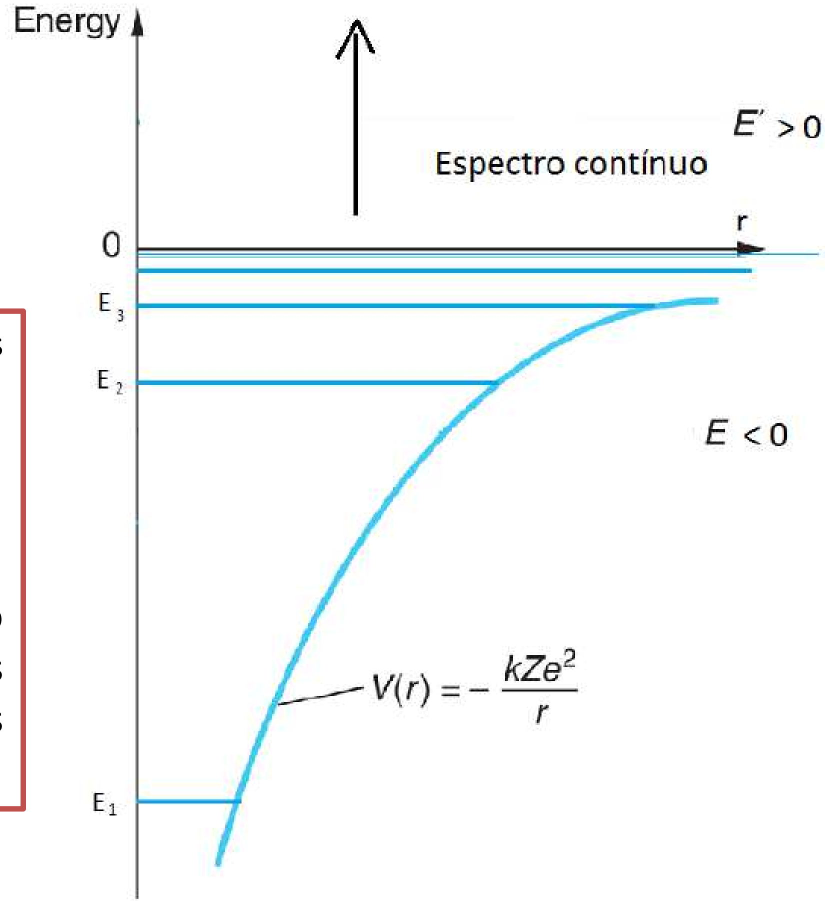
$$L_z = m\hbar \quad \text{for} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots, \pm \ell$$

A energia para o átomo de hidrogênio é dada por:

$$E_n = -\frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n^2} = -\frac{\mu e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2 n^2} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots$$

Usando a definição do raio de Bohr: $a_0 = \varepsilon_0 h^2/\pi\mu e^2 = 4\pi\varepsilon_0\hbar^2/\mu e^2$

$$\boxed{E_n = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 a_0 n^2} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots}$$



Na ausência de campo magnético, temos um número de estados com a mesma energia para o mesmo n e diferentes l e m, dado por:

de estados = n^2 (sem levar em conta o spin)

Obs: Na próxima aula, falaremos sobre um outro número quântica, o **spin,** para o elétron o spin poderá assumir dois valores distintos e isso resulta em $2.n^2$ estados degenerados (como veremos na aula de hoje...)

As soluções da equação radial são dadas por esta formula de recorrência:

$$R_{nl}(r) = -\left\{\frac{(n-l-1)!}{2n[(n+l)!]^3}\right\}^{1/2}\left(\frac{2}{na_0}\right)^{l+3/2} r^l e^{-r/na_0} L_{n+l}^{2l+1}\left(\frac{2r}{na_0}\right)$$

$n=1$	$\ell=0$	$R_{10} = \frac{2}{\sqrt{a_0^3}} e^{-r/a_0}$
$n=2$	$\ell=0$	$R_{20} = \frac{1}{\sqrt{2a_0^3}}\left(1-\frac{r}{2a_0}\right) e^{-r/2a_0}$
	$\ell=1$	$R_{21} = \frac{1}{2\sqrt{6a_0^3}}\frac{r}{a_0} e^{-r/2a_0}$
$n=3$	$\ell=0$	$R_{30} = \frac{2}{3\sqrt{3a_0^3}}\left(1-\frac{2r}{3a_0}+\frac{2r^2}{27a_0^2}\right) e^{-r/3a_0}$
	$\ell=1$	$R_{31} = \frac{8}{27\sqrt{6a_0^3}}\frac{r}{a_0}\left(1-\frac{r}{6a_0}\right) e^{-r/3a_0}$
	$\ell=2$	$R_{32} = \frac{4}{81\sqrt{30a_0^3}}\frac{r^2}{a_0^2} e^{-r/3a_0}$

Normalização: $$\int_0^\infty R_{nl}^*(r)R_{nl}(r)r^2dr = 1$$

$$\boxed{a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{\mu e^2}}$$

RESUMO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO

Resumindo, para o átomo de hidrogênio, as energias são dadas por:

$$\boxed{E_n = -\frac{\mu}{2}\left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0\hbar}\right)^2\frac{1}{n^2}}$$

Ou seja, temos os espectros de linhas de emissão como visto na primeira parte da disciplina.

As funções de onda são definidas por três números quânticos:

$$\begin{aligned}
n &= 1,\ 2,\ 3,\ \ldots \\
l &= 0,\ 1,\ 2,\ \ldots,(n-1) \\
m &= -l,(-l+1),(-l+2)\ ,\ \ldots,0,\ 1,2,\ldots l
\end{aligned}$$

$$\boxed{\psi_{nlm}(r,\theta,\varphi) = R_{nl}(r)\,Y_{lm}(\theta,\varphi)}$$

Funções de onda do estado estacionário do átomo de Hidrogênio

A solução dos estados estacionarias são dadas por:

$$\psi_{nlm}(r,\theta,\varphi) = R_{nl}(r)\,Y_{lm}(\theta,\varphi)$$

Em geral, os harmônicos esféricos já são normalizados em sua definição:

$$\int_0^{\pi} d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi\, sin\,\theta \mid Y_{lm}(\theta,\varphi) \mid^2 = 1$$

Contudo, para a função estar devidamente normalizada, devemos ter:

$$\begin{aligned} \int_{todo\ espaço} \mid \psi_{nlm}(r,\theta,\varphi) \mid^2 dV &= 1 \\ \int_{todo\ espaço} \mid R_{nl}(r)\,Y_{lm}(\theta,\varphi) \mid^2 dV &= 1 \end{aligned}$$

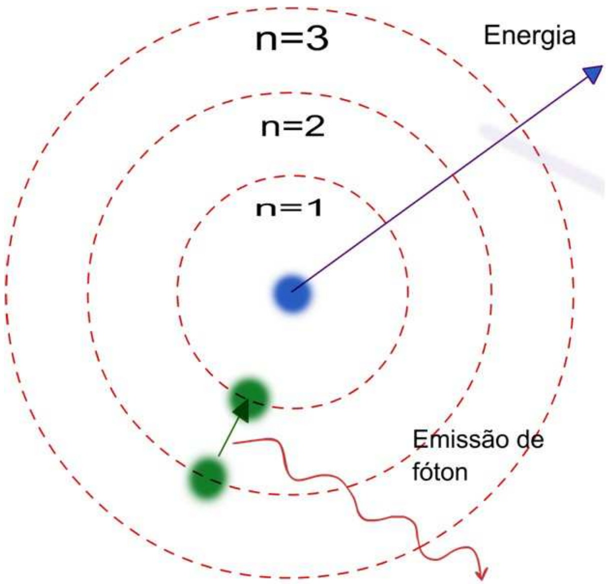
Em coordenadas esféricas um elemento de volume é dado por:

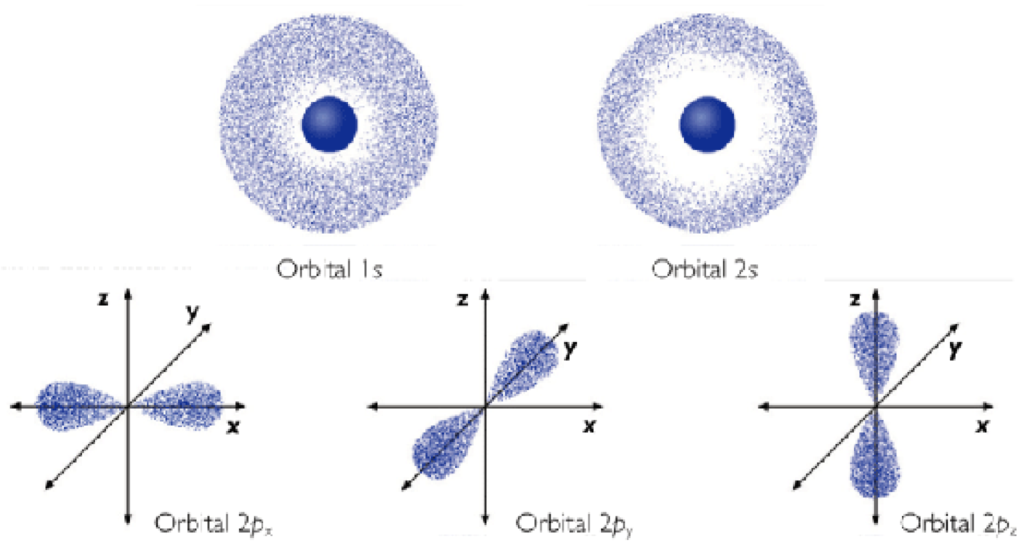
$$dV \equiv r^2 sin\,\theta\, dr\, d\theta\, d\varphi$$

Entre os modelos de Bohr e Schrodinger

A quantização do momento no modelo de Bohr é a mesma da projeção do momento angular (Lz) no modelo de Schrodinger.

O modelo de Bohr é uma simplificação do modelo de Schrodinger: Uma "**sombra**" do modelo mais completo.

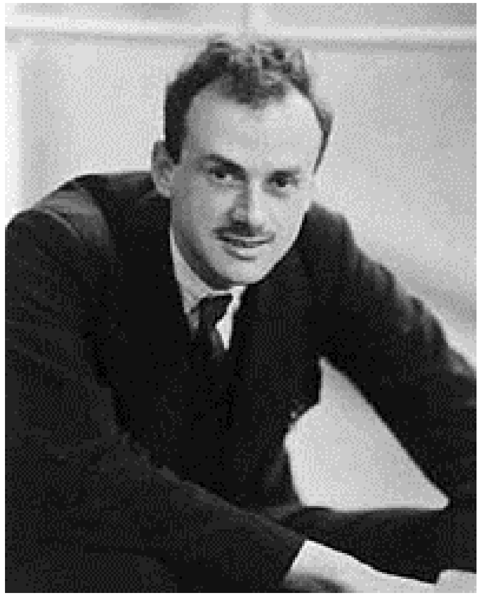




$$L = mvr = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$L_z = m\hbar \quad \text{for} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots, \pm \ell$$

O modelo do átomo de Hidrogênio via solução da equação de Schrodinger confirmava a efetividade da teoria quântica para a Física Atômica.



The Nobel Prize in Physics 1933 was awarded jointly to Erwin Schrödinger and Paul Adrien Maurice Dirac:

"for the discovery of new productive forms of atomic theory."

Considere um átomo de Hidrogênio (Z=1) de massa reduzida μ, o elétron deste átomo encontra-se no estado com a função de onda radial $R_{21}\,(r) = A\, re^{-r/2a_0}$, com n =2 e l = 1. O potencial de interação entre o núcleo e o elétron é dado por $V(r) = \frac{\hbar^2}{\mu a_0}\frac{1}{r}$.

a)Determine a constante de normalização para este estado.

b)Mostre por substituição direta que está função é solução da equação de Schrodinger radial e determine a energia correspondente a este estado.

Feito em sala de aula!

O Papel dos Números Quânticos Atômicos

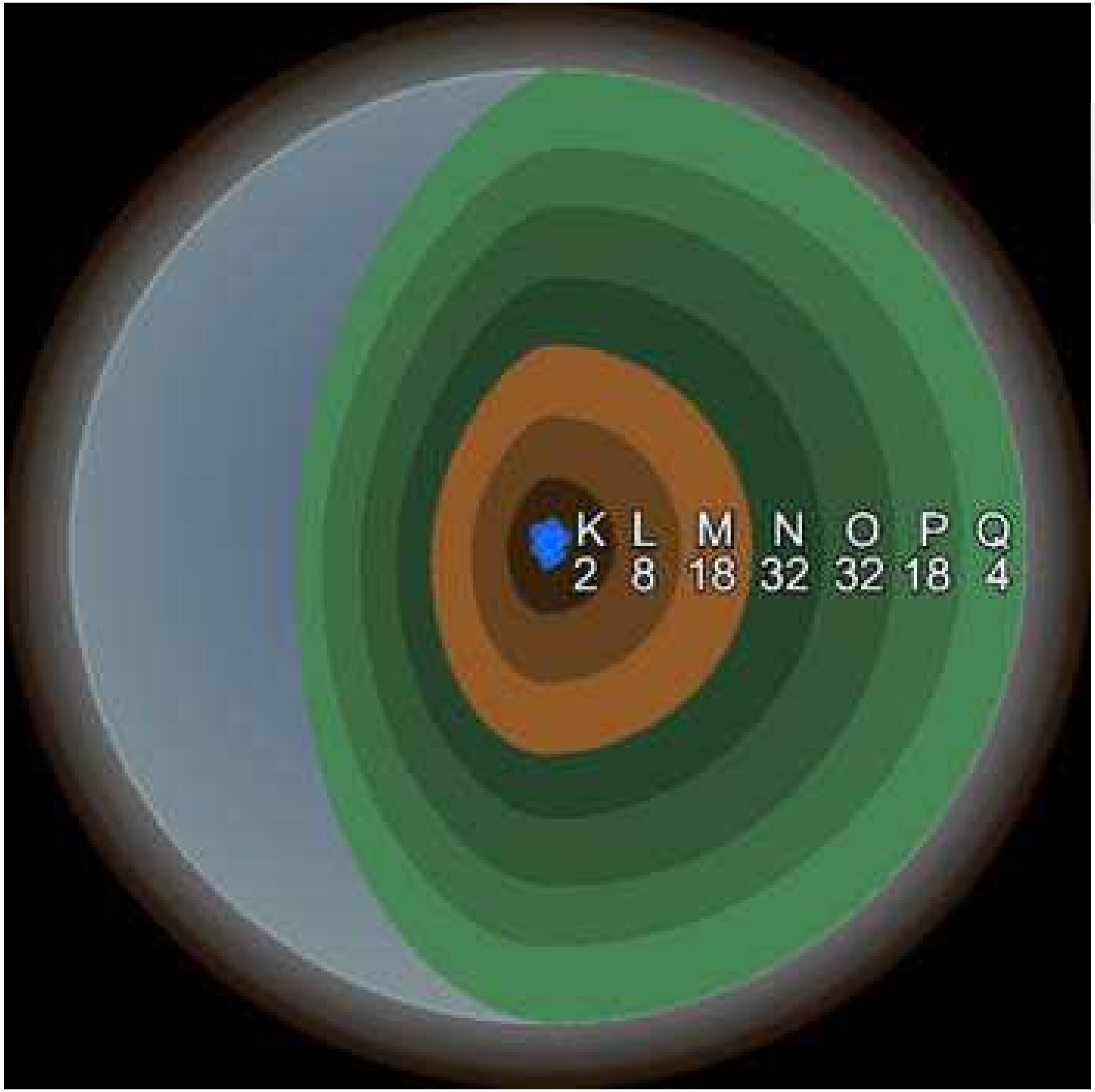
n está associado a energia do elétron e define a sua "proximidade" do núcleo

l está associado ao momento angular do elétron e define o "tipo" de forma do orbital

m está associado à projeção do momento angular (número quântico magnético) do elétron e define a "orientação" do orbital no espaço.

O conjunto de número quânticos associados a um elétron pode ser entedido como um "endereço". Devido a característica dos elétrons, que são férmions, não existem dois eletrons no Universo que ocupem exatamente os mesmos números quânticos.

A definição de camadas a partir do número quântico principal (n)



$n =$	1	2	3	4 . . .
	K	L	M	N . . .

A nomeclatura S P D F

Origem histórica devido a aparência das linhas observadas no espectro do hidrogênio

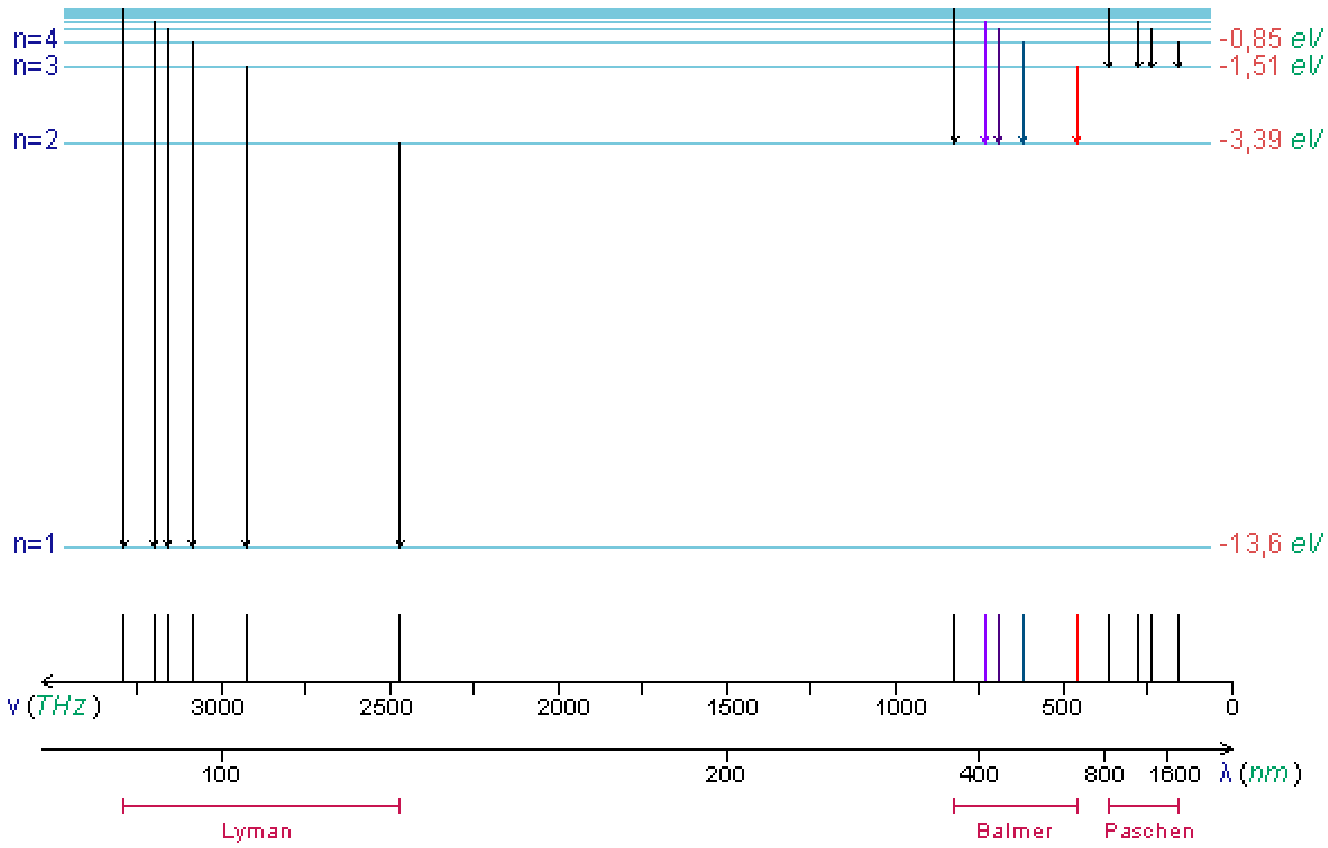
S : SHARP (l = 0)
P : PRINCIPAL (l = 1)
D : DIFFUSE (l = 2)
F : FUNDAMENTAL (l = 3)

$l =$	0	1	2	3	4	5	6 . . .
	s	p	d	f	g	h	i . . .

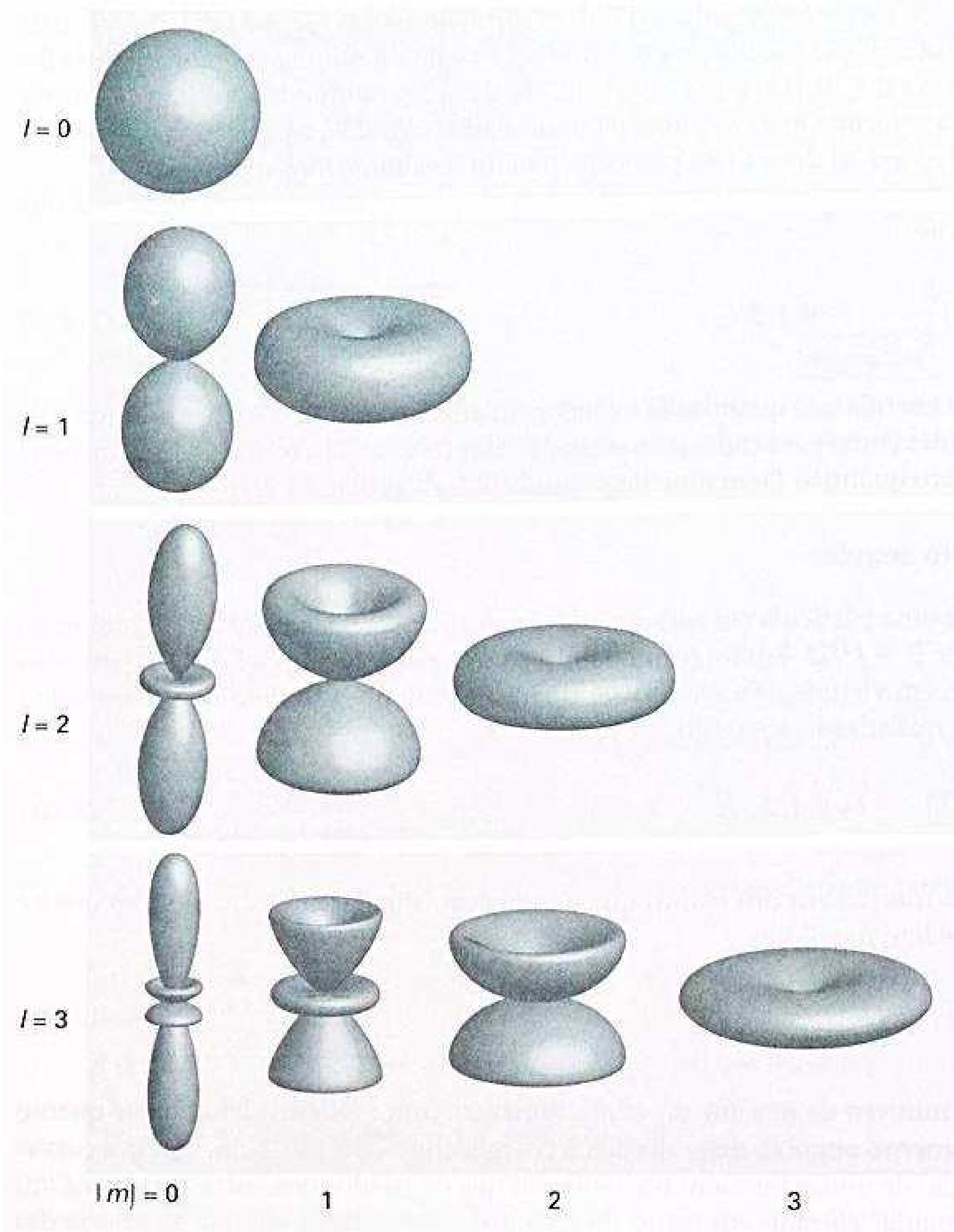
G (l = 4)

H (l = 5)

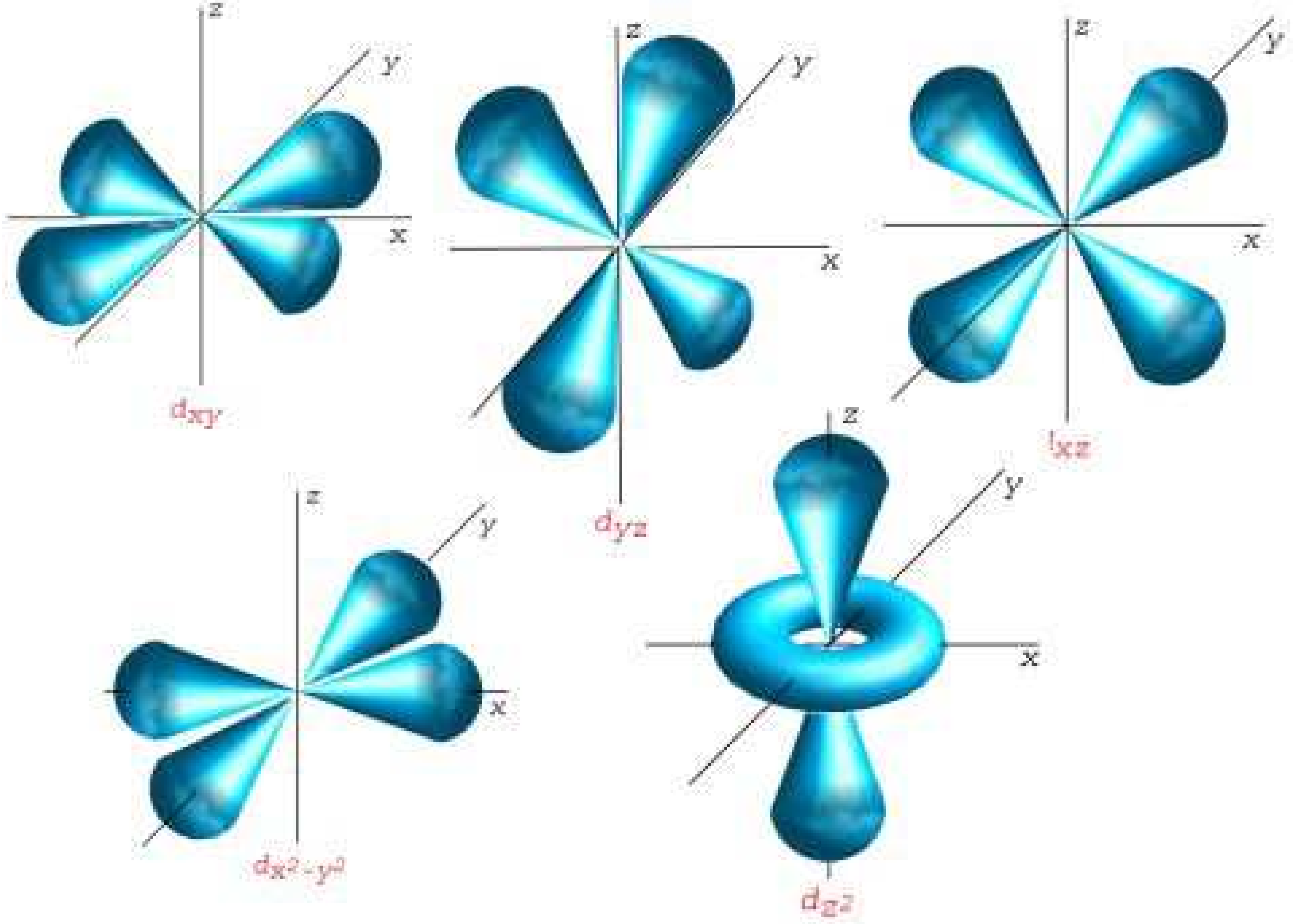
.
.
.



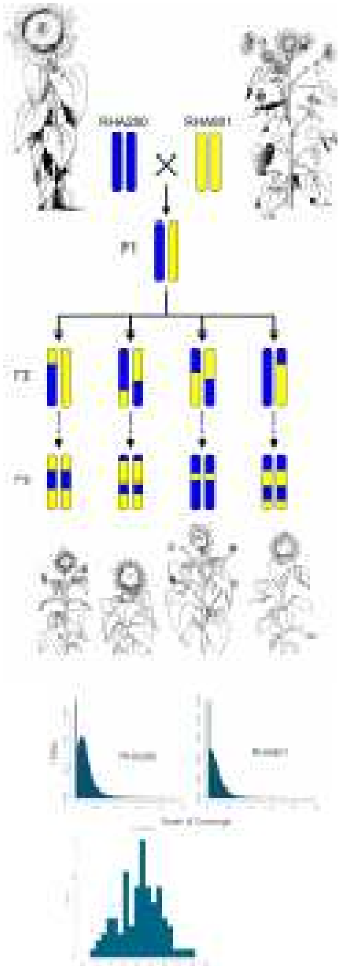
As diferentes formas associadas a variação dos números quânticos l e m.

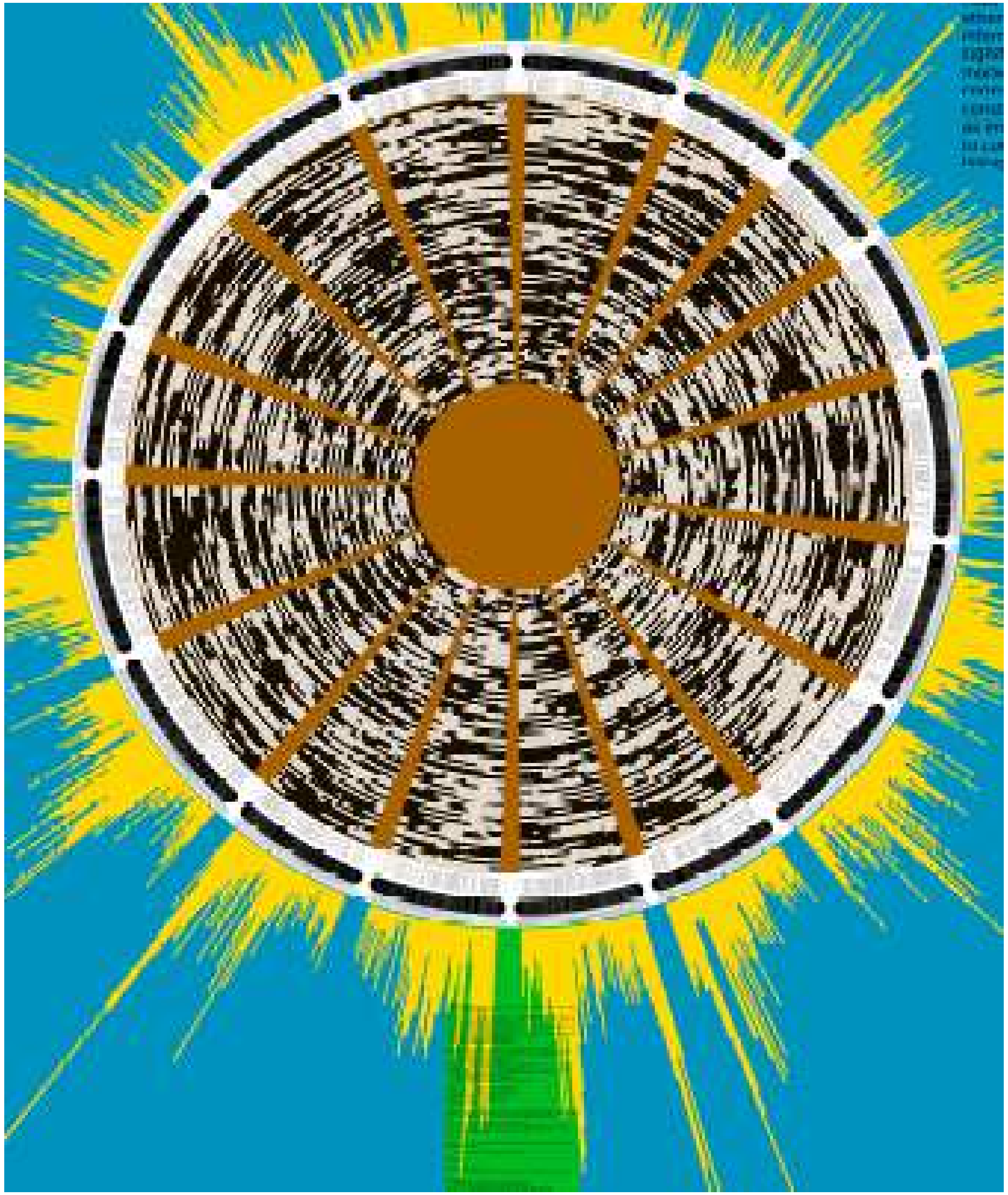


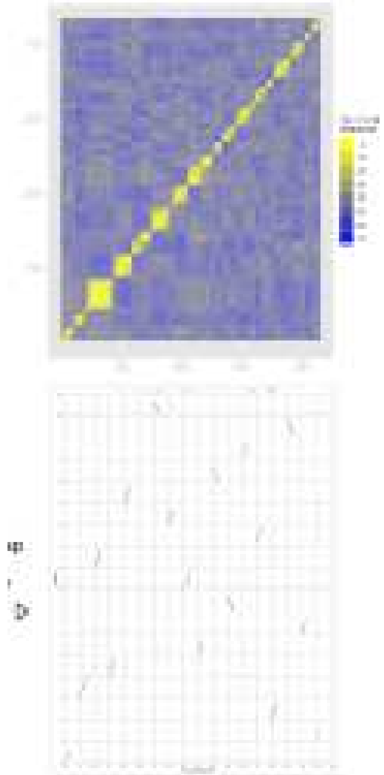
O que as funções de onda do Átomo de Hidrogênio representam?



Uma Questão de Representação

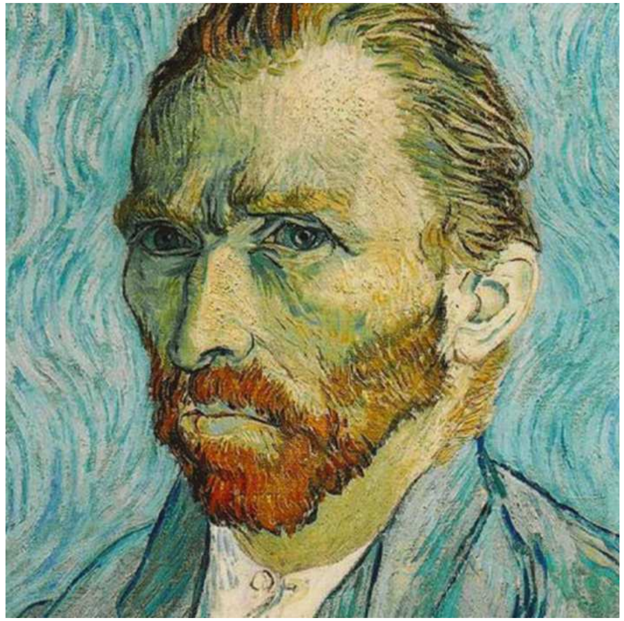






https://sunflowergenome.org/geneticmap-data/assets/data/geneticmap/grassa_PAG_2012.v2.lowres.pdf

Uma Questão de Representação

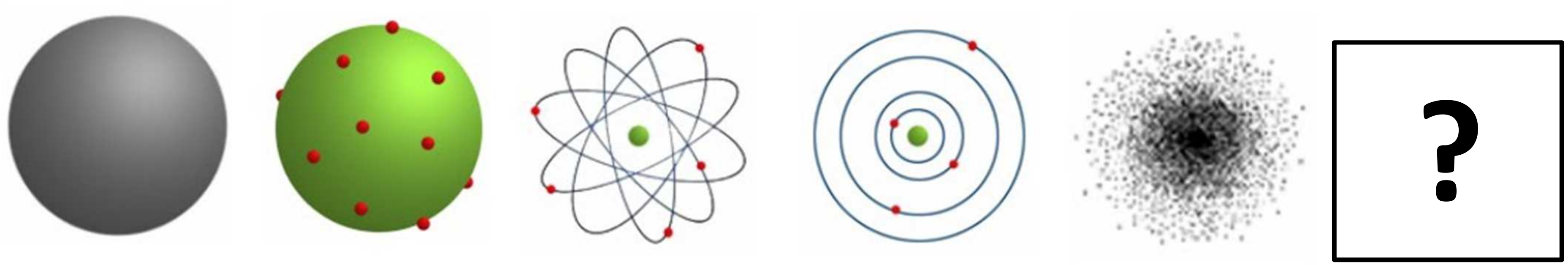


"Não extingua sua inspiração e sua imaginação; não se torne o escravo do seu modelo."

V. van Gogh

Uma Questão de Representação

Evolução dos modelos Atômicos



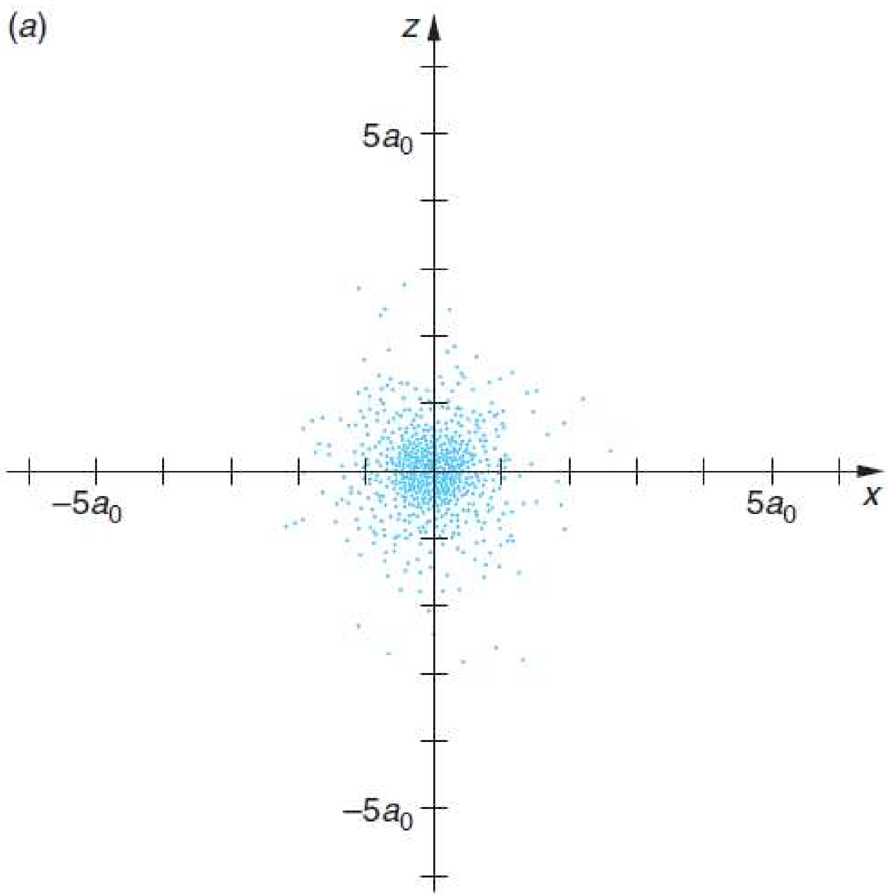
1803 → **1926** **(...)**

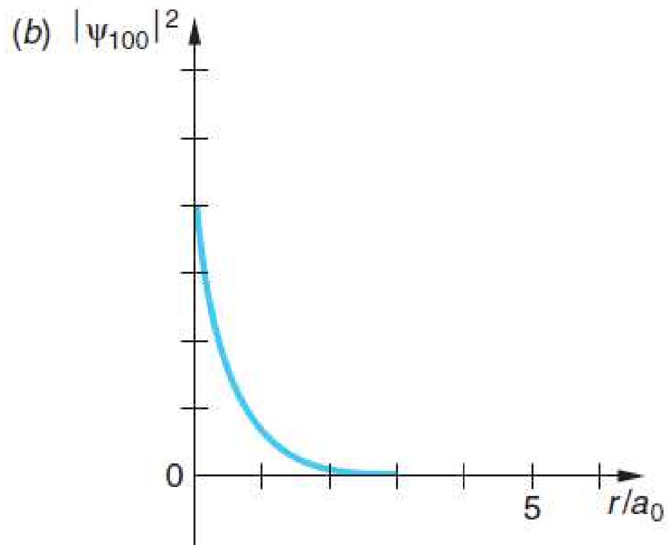
Em um periodo de 120 anos, tivemos uma mudança completa na forma como compreendemos a materia e como ela se manifesta no espaço e no tempo.

Nos últimos 90 anos, temos aprimorado a nossa visão do modelo de Schrodinger.

Orbitais Atômicos

Os orbitais atômicos representam os estados estacionários dos elétrons ligados ao átomo e definem a região no espaço (3D), na qual é distribuida a probabilidade de se encontrar estes elétrons após ser realizada uma medida.





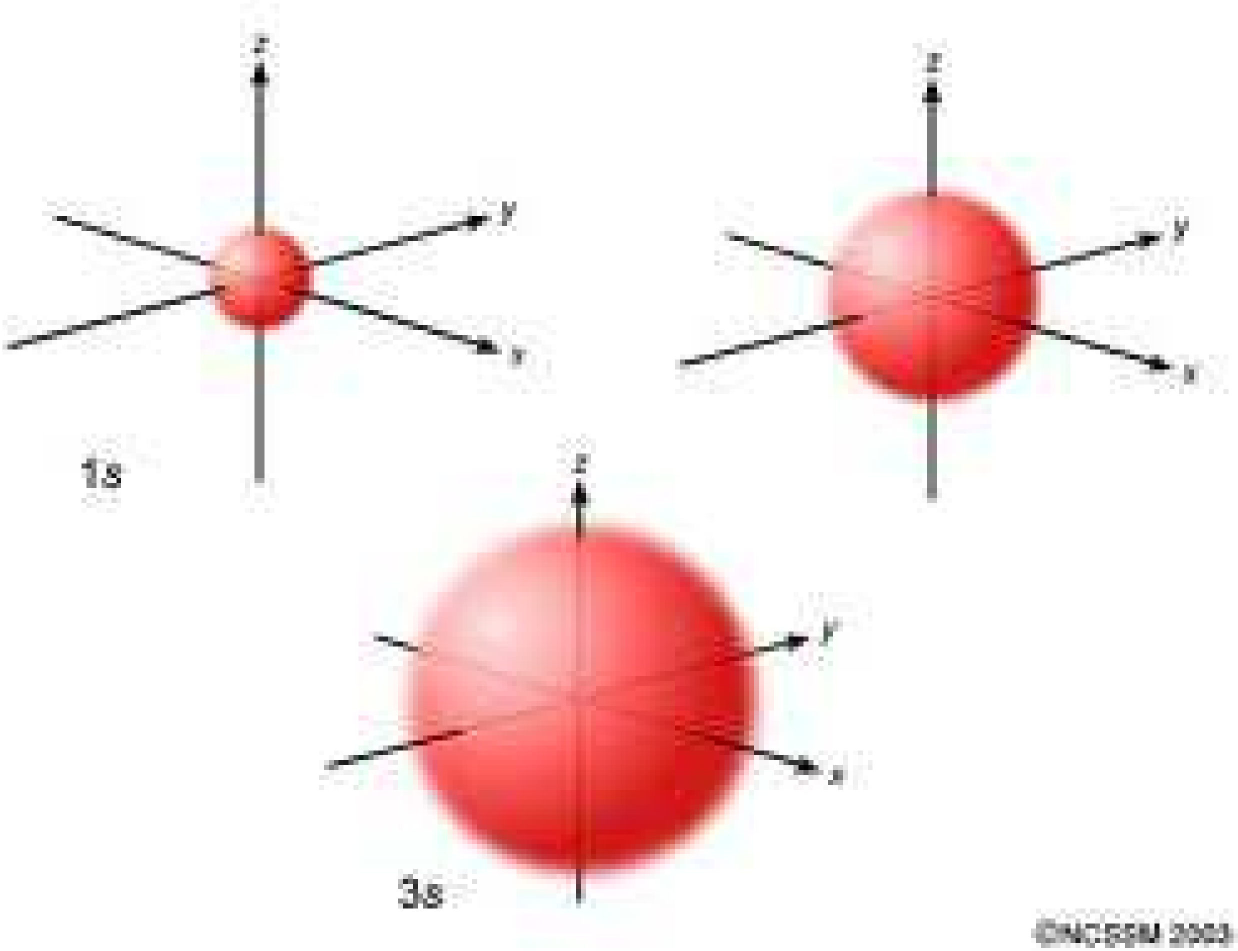
Look at me as many times as you wish,
but you won't get to know me !
Since you have last seen me,
I've changed a hundred times !

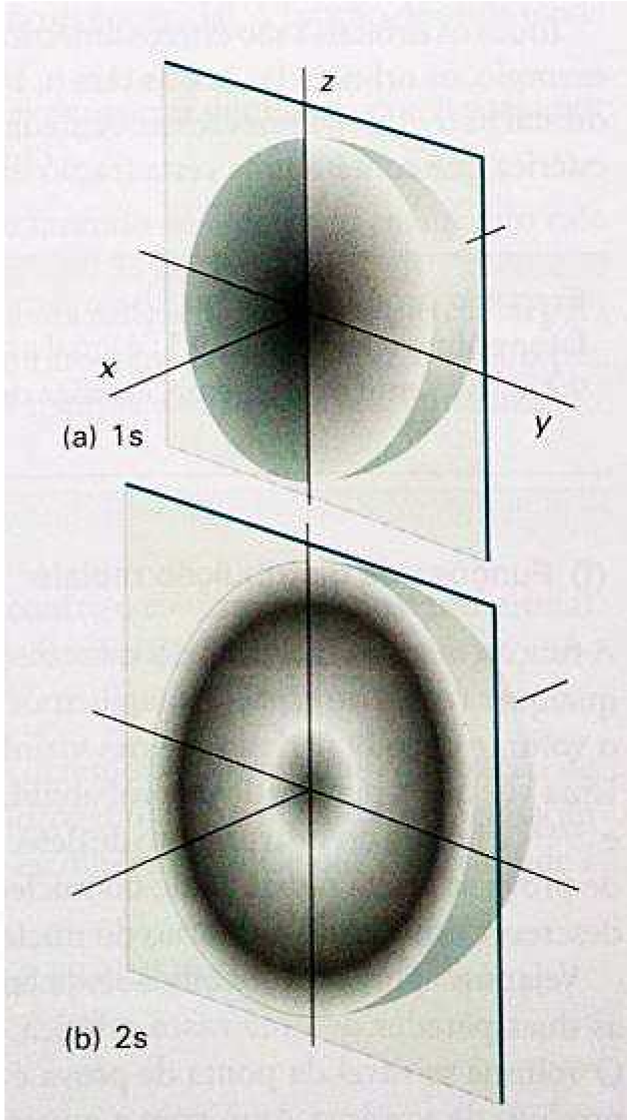
Rumi =)

"What we observe as material bodies and forces are nothing but shapes and variations in the structure of space."

Erwin Schrodinger

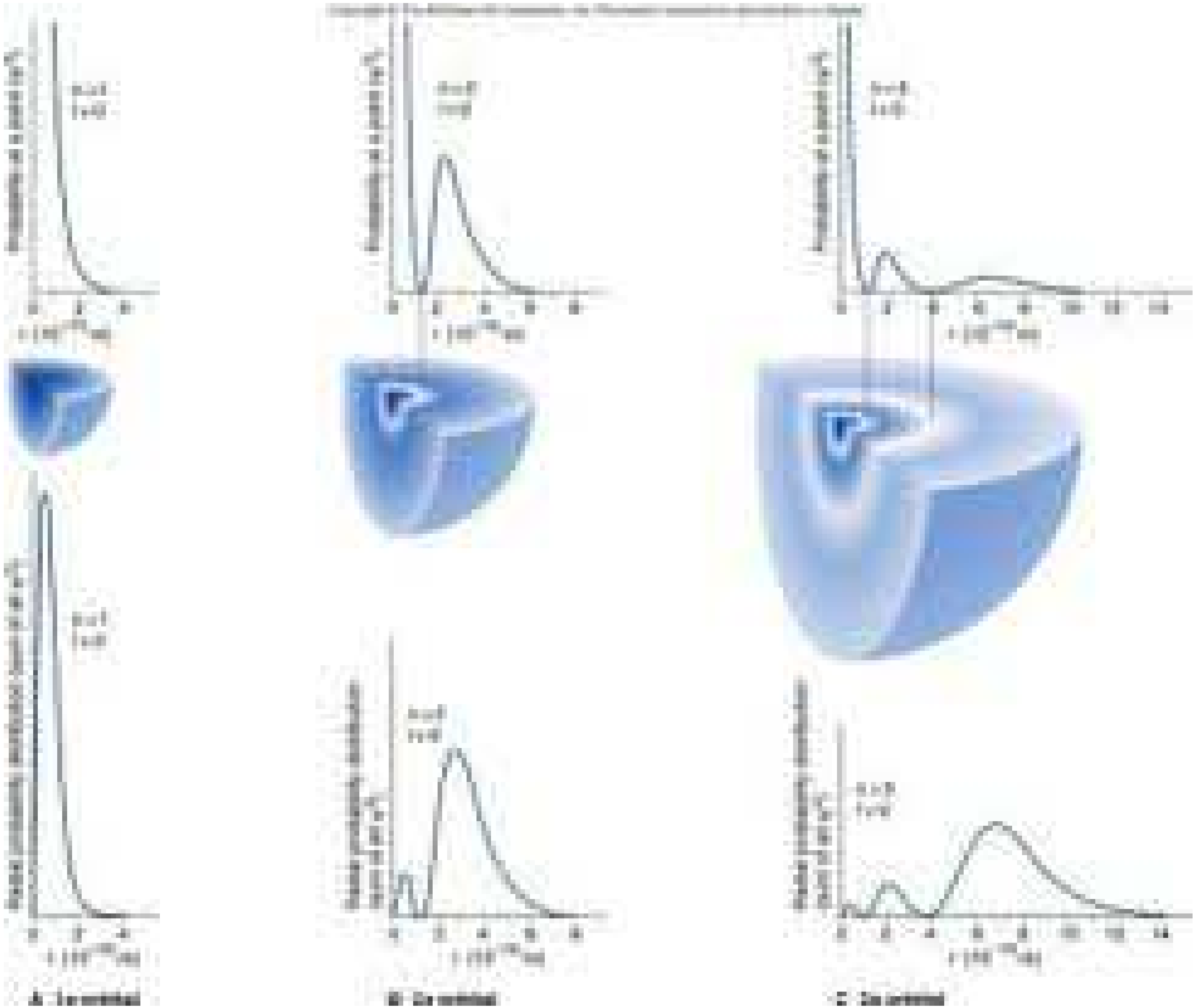
Orbitais S (l = 0)



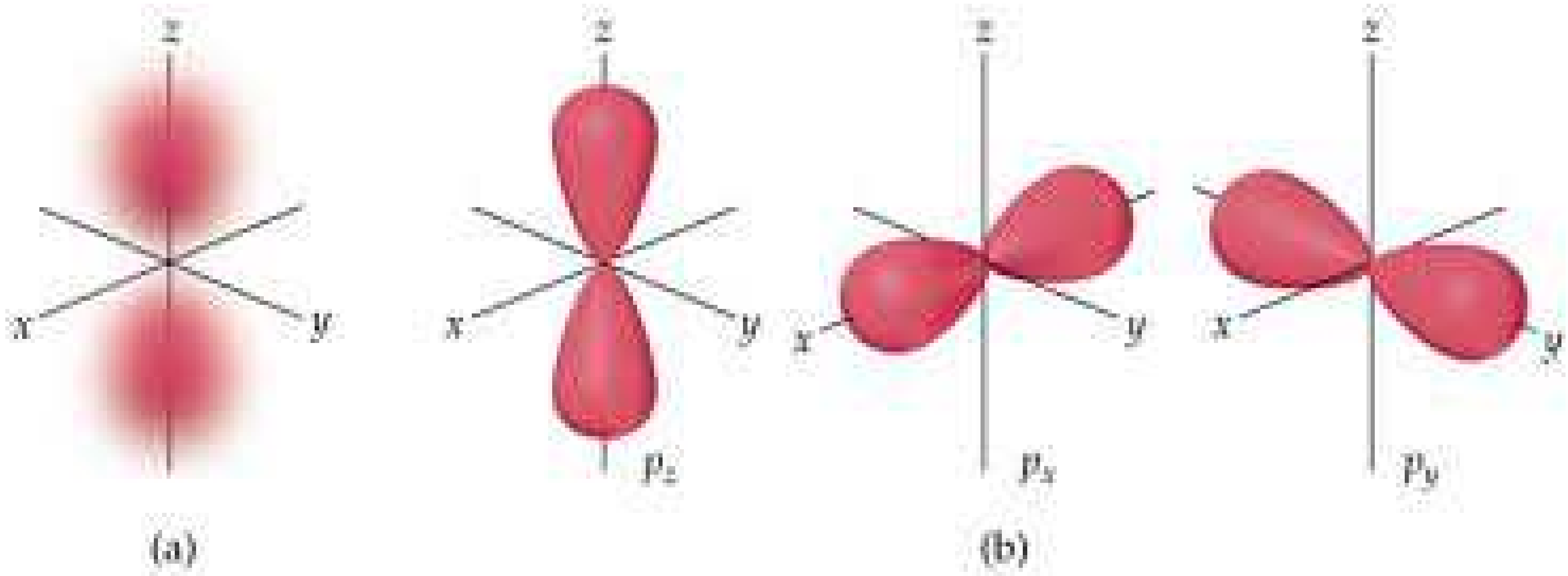


$$\psi = \frac{1}{(\pi a_0^3)^{1/2}} e^{-r/a_0}$$

Orbitais S (l = 0)



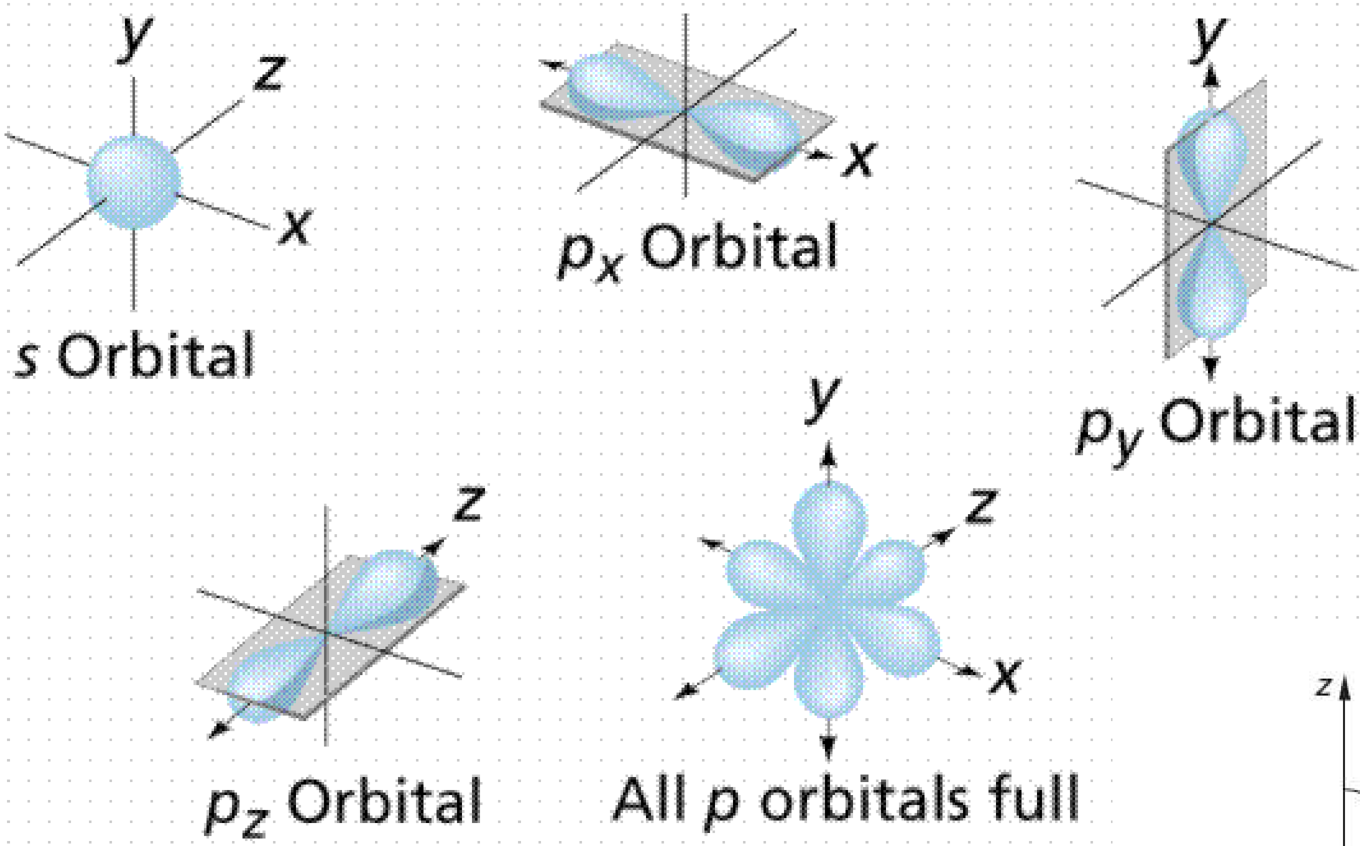
Orbitais P (l = 1)



$$\psi_{p_0} = R_{2,1}(r)Y_{1,0}(\theta,\phi) = \frac{1}{4(2\pi)^{1/2}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{5/2} r\cos\theta\, e^{-Zr/2a_0} = r\cos\theta f(r)$$

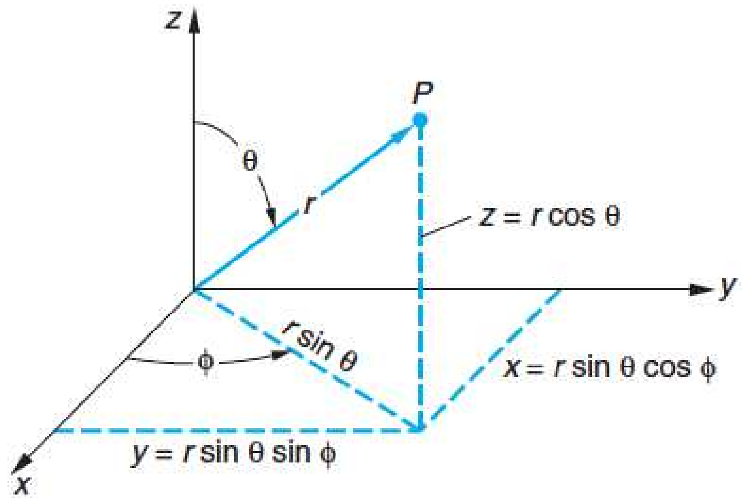
$$\psi_{p_{\pm1}} = R_{2,1}(r)Y_{1,\pm1}(\theta,\phi) = \mp\frac{1}{8\pi^{1/2}}\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{5/2} r\,\mathrm{sen}\,\theta\, e^{\pm i\phi} e^{-Zr/2a_0} = \mp\frac{1}{2^{1/2}} r\,\mathrm{sen}\,\theta\, e^{\pm i\phi} f(r)$$

Orbitais P (l = 1)

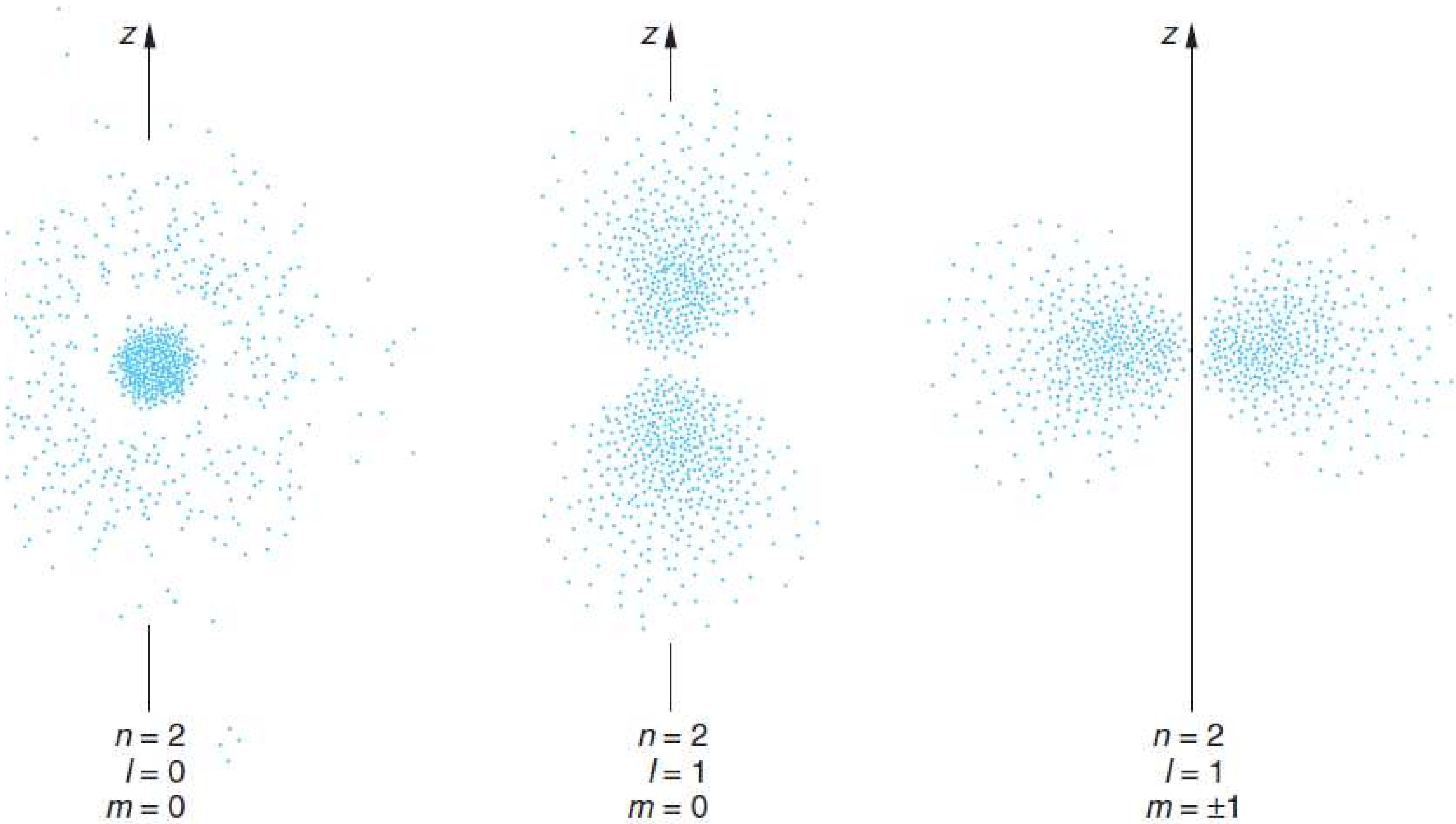


$$\psi_{p_x} = -\frac{1}{2^{1/2}}(p_{+1} - p_{-1}) = r\,\text{sen}\,\theta\cos\phi\,f(r) = xf(r)$$

$$\psi_{p_y} = \frac{i}{2^{1/2}}(p_{+1} + p_{-1}) = r\,\text{sen}\,\theta\,\text{sen}\,\phi\,f(r) = yf(r)$$



Distribuição de densidade de probabilidade para funções de onda com n = 2



Todos estes estados tem o **mesmo** valor de energia.

DEGENERESCENCIA!!!!

Orbitais D

$l=2$

d orbital

$m=-2$

$m=-1$

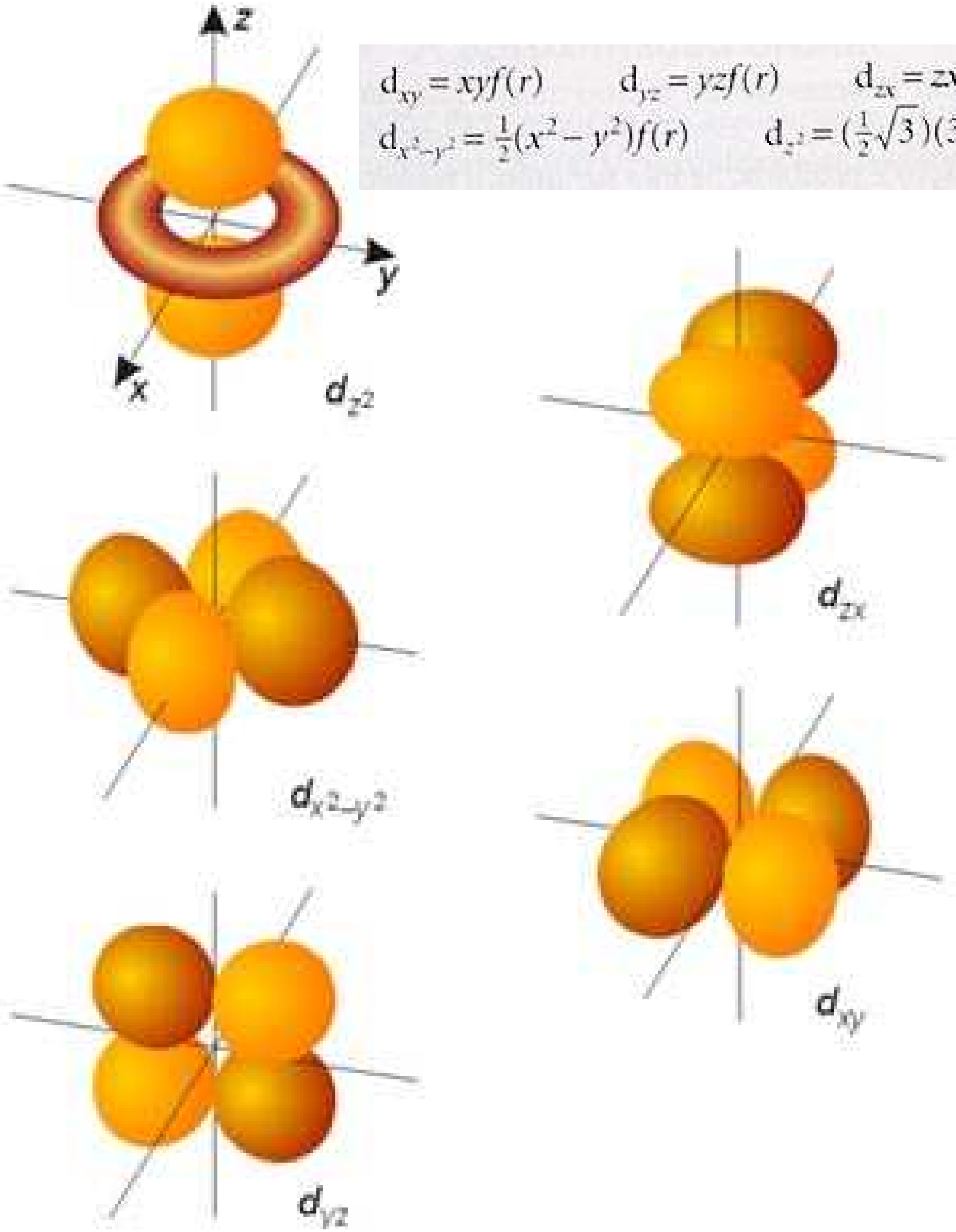
$m=0$

$m=1$

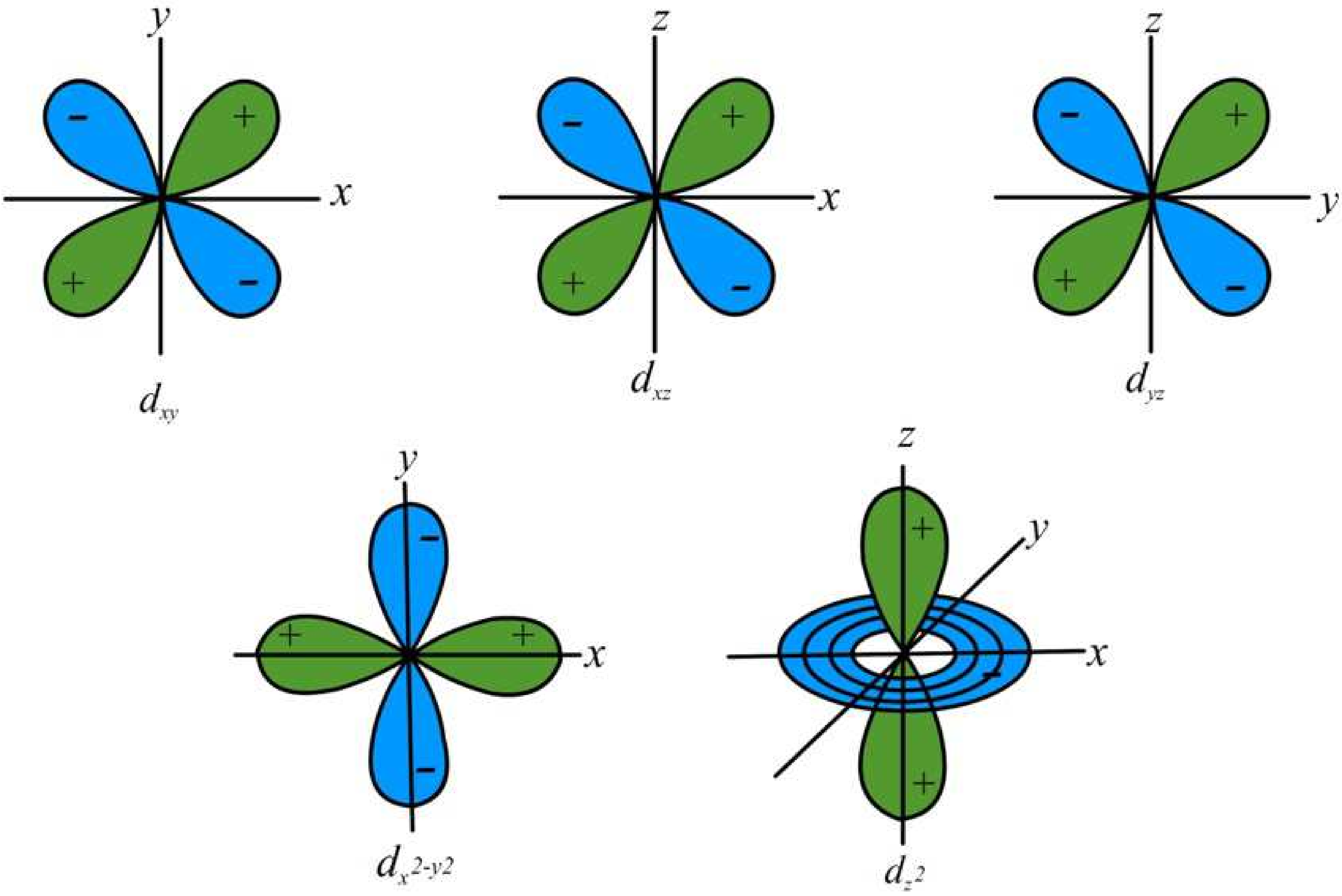
$m=2$

$$d_{xy} = xyf(r) \qquad d_{yz} = yzf(r) \qquad d_{zx} = zxf(r)$$

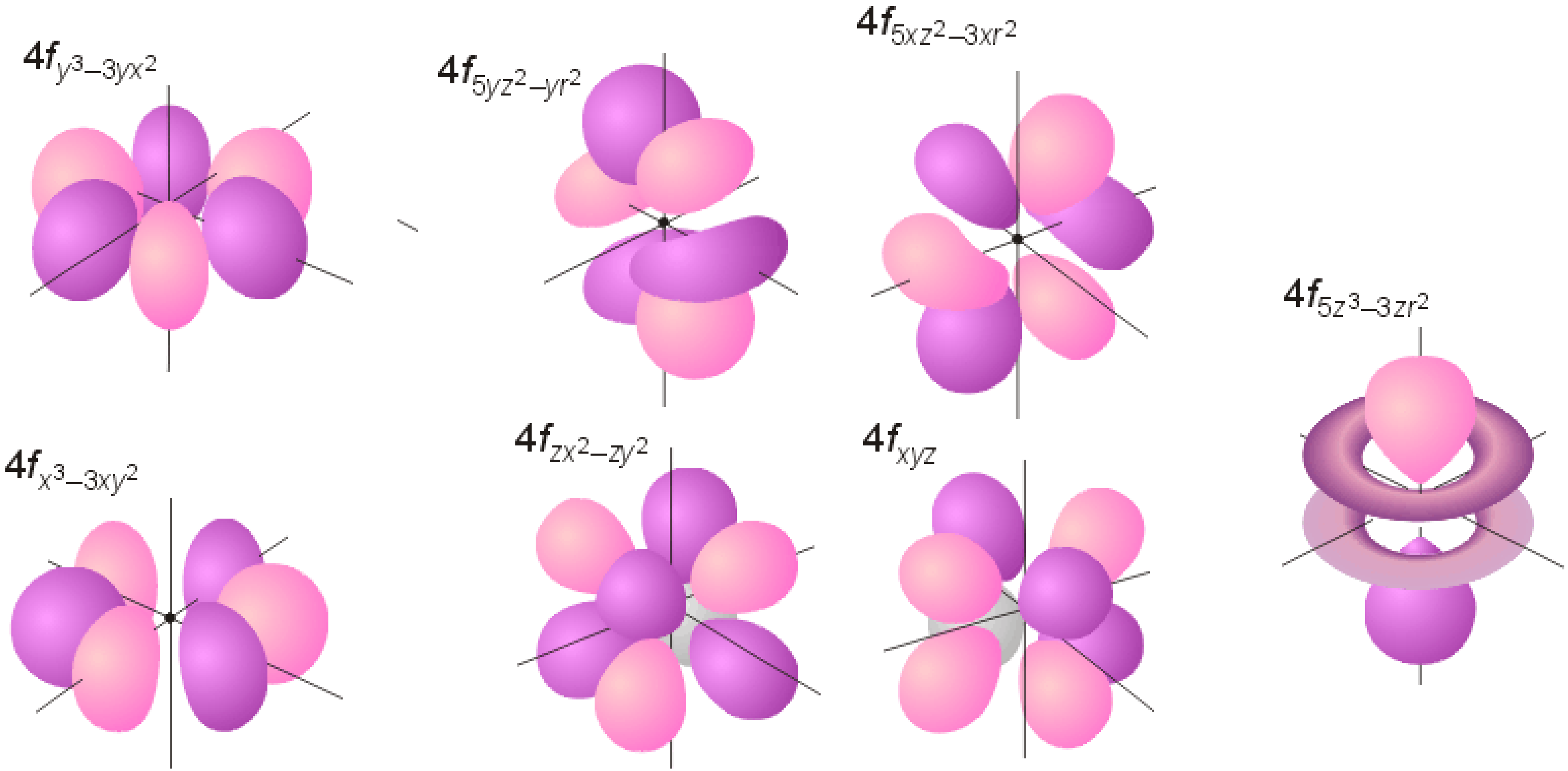
$$d_{x^2-y^2} = \tfrac{1}{2}(x^2 - y^2)f(r) \qquad d_{z^2} = (\tfrac{1}{2}\sqrt{3})(3z^2 - r^2)f(r)$$



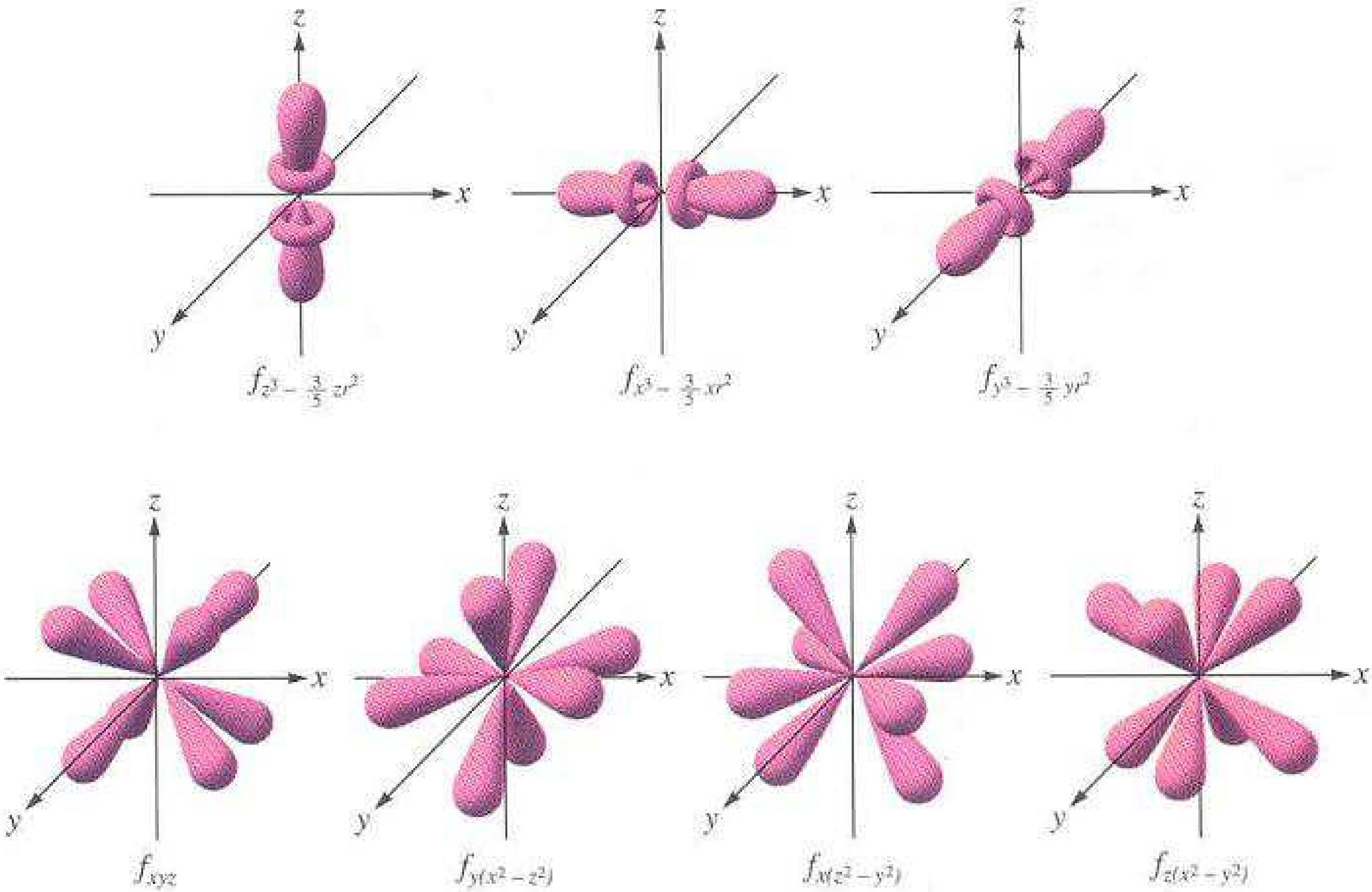
Orbitais D



Orbitais F

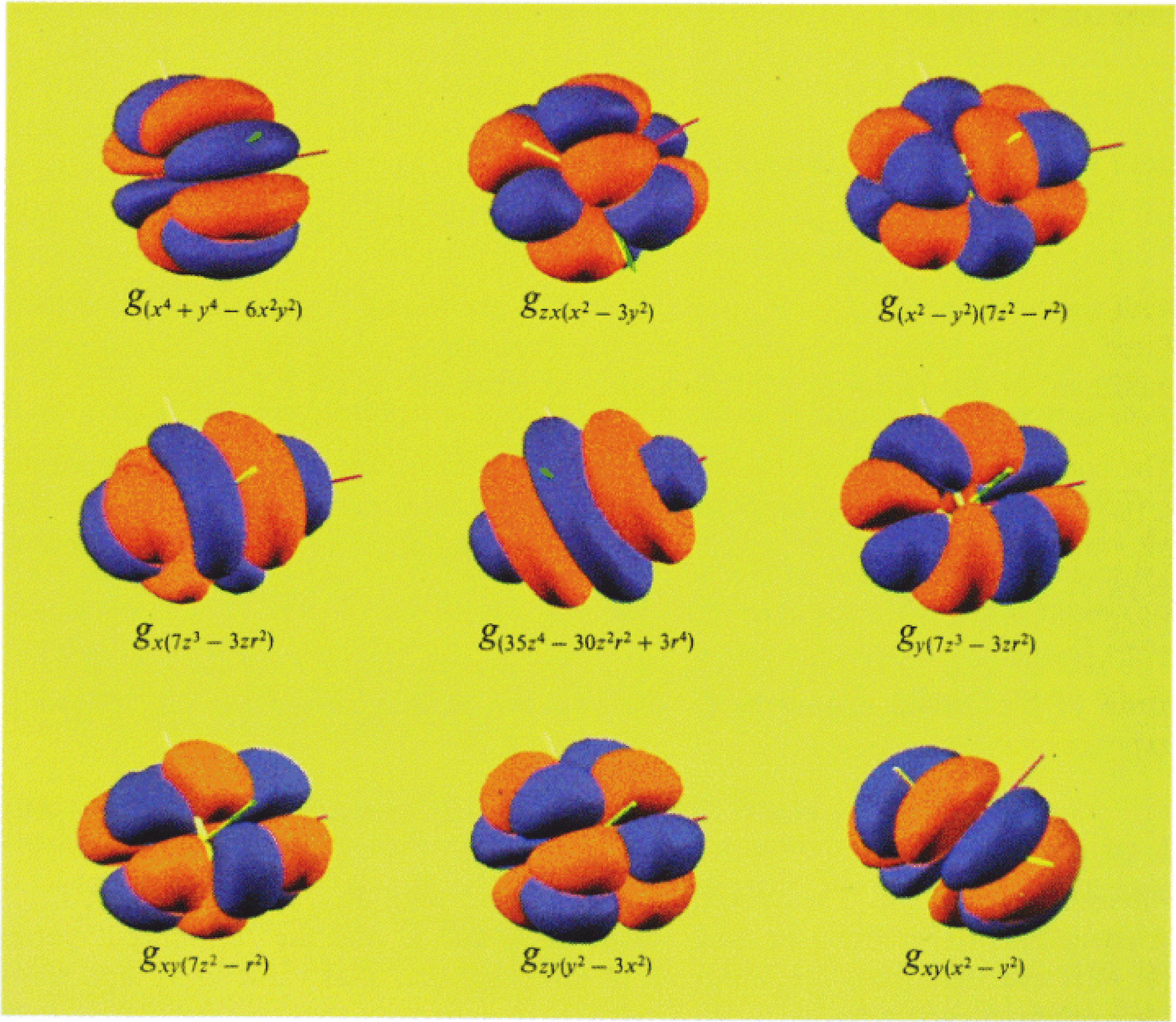

$4f_{y^3-3yx^2}$
$4f_{5yz^2-yr^2}$
$4f_{5xz^2-3xr^2}$
$4f_{5z^3-3zr^2}$
$4f_{x^3-3xy^2}$
$4f_{zx^2-zy^2}$
$4f_{xyz}$

Orbitais F



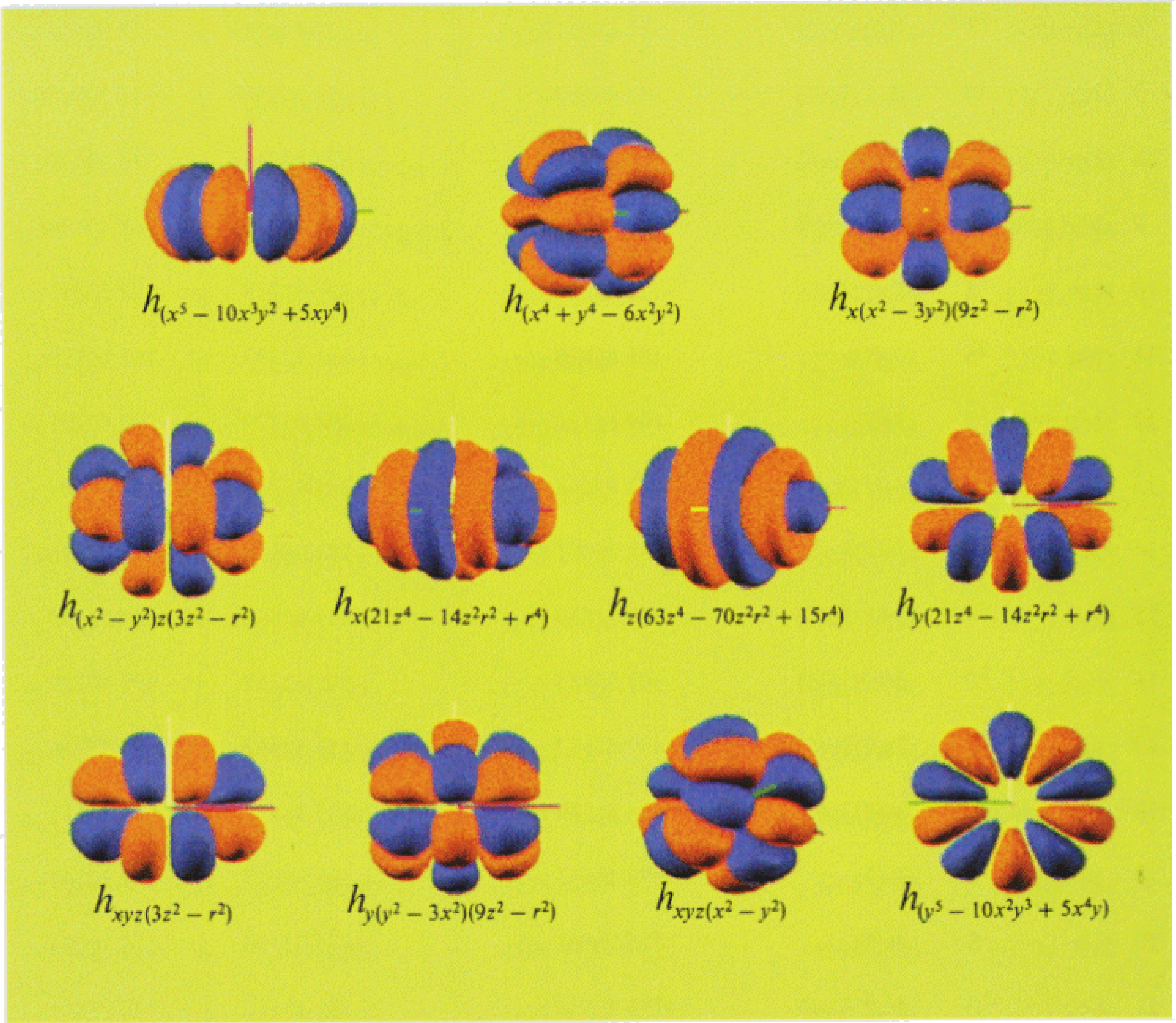
z
x
y
$f_{z^3 - \frac{3}{5}zr^2}$
$f_{x^3 - \frac{3}{5}xr^2}$
$f_{y^3 - \frac{3}{5}yr^2}$
f_{xyz}
$f_{y(x^2 - z^2)}$
$f_{x(z^2 - y^2)}$
$f_{z(x^2 - y^2)}$

Orbitais G



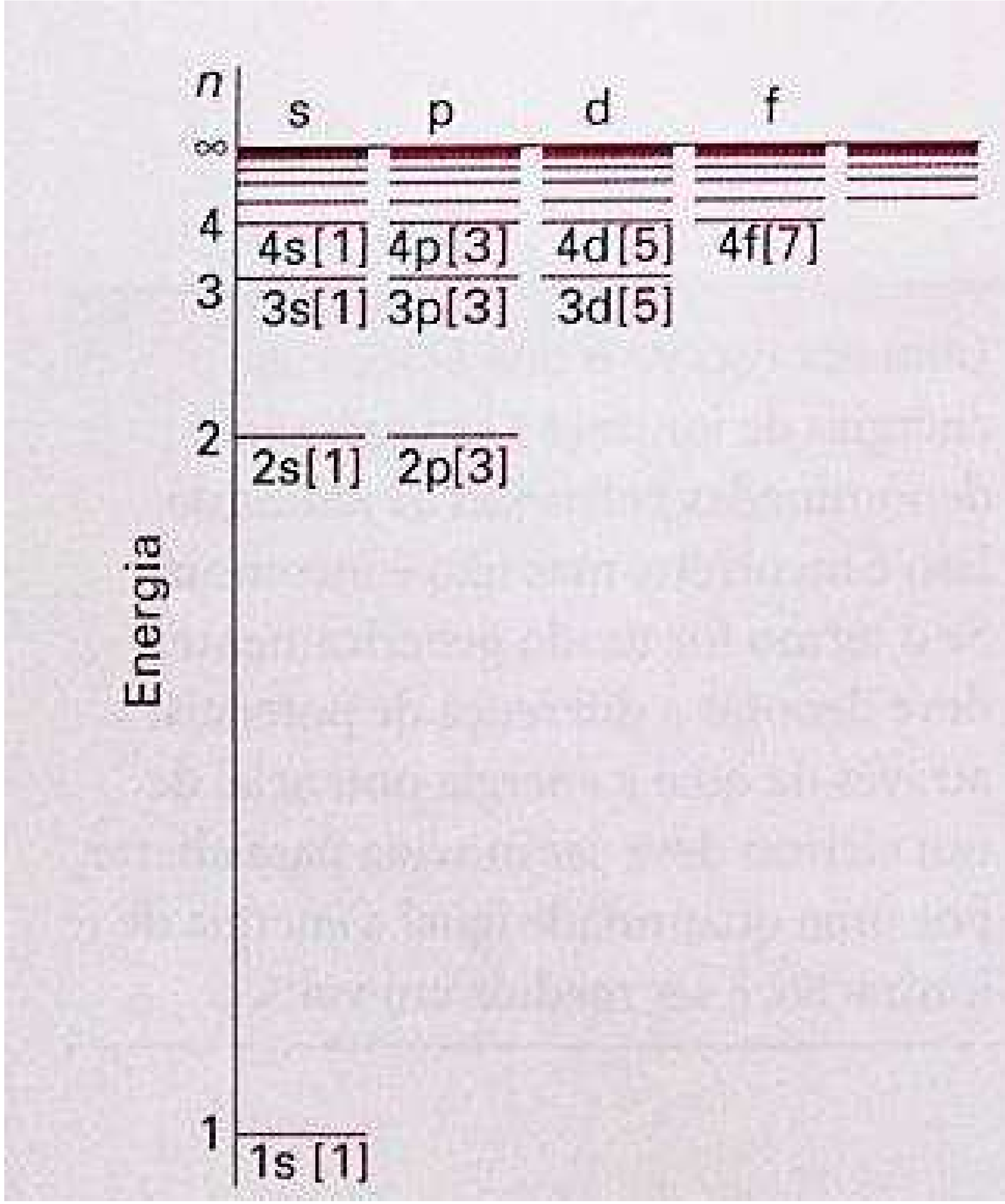
Representação 3D-dimensional dos orbitais do tipo g.

Orbitais H

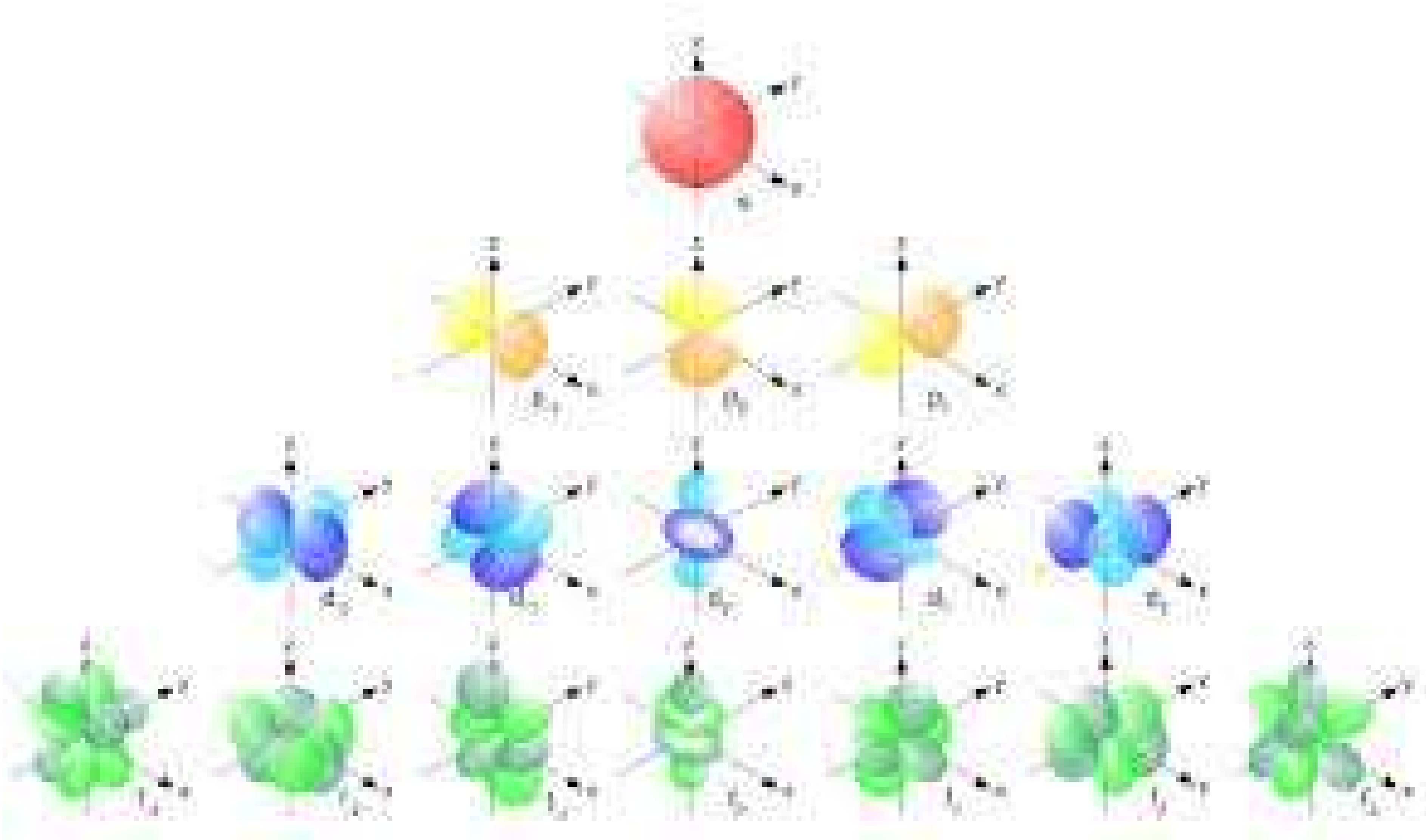


Representação 3D-dimensional dos orbitais do tipo h.

Representação: Diagrama de níveis de energia



Lembre-se: Orbitais são representações da probabilidade de medida da posição de um elétron associado a uma certa energia.



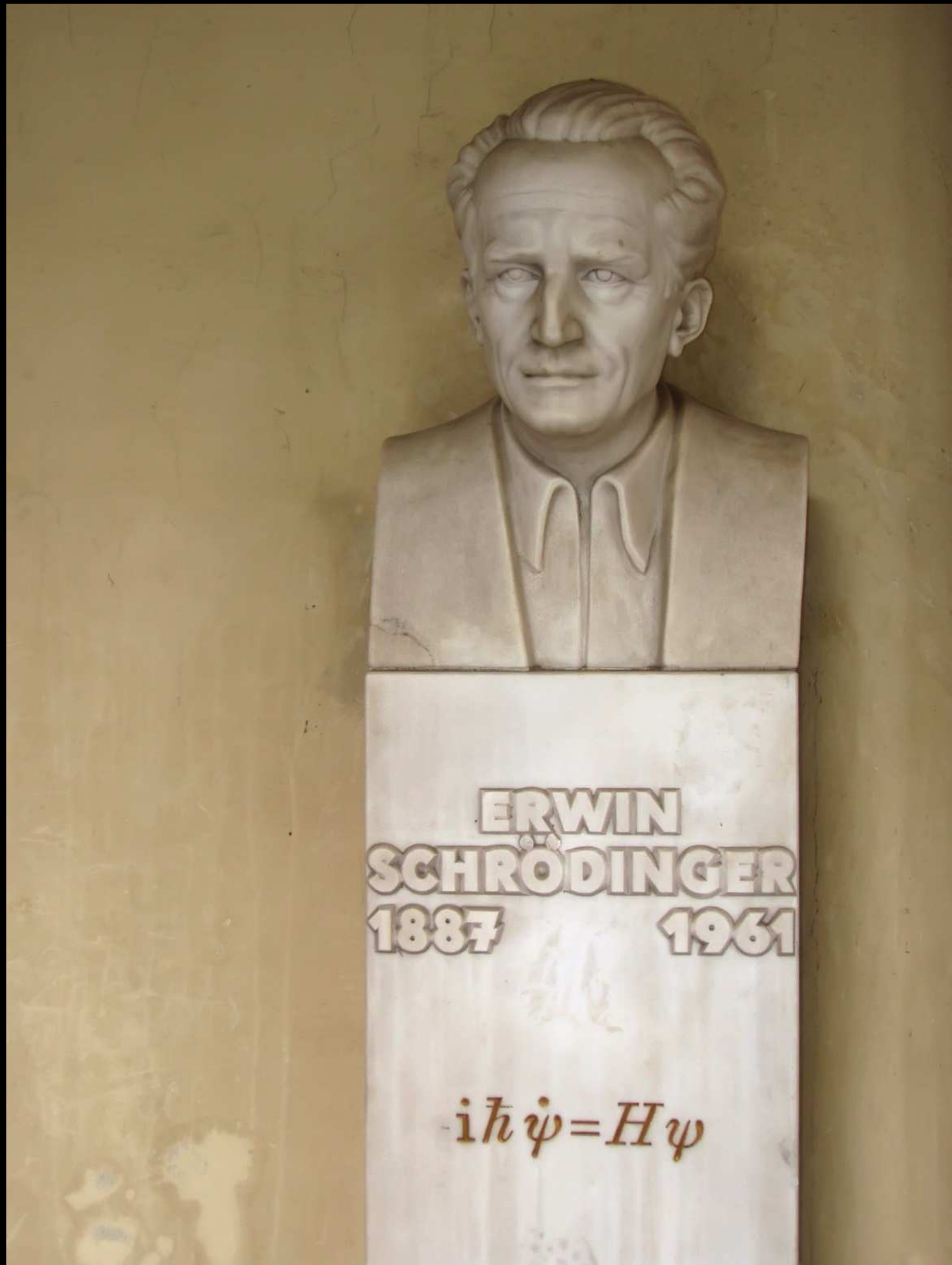

"The hardest choices require the strongest wills"
Thanos

Com o trabalho de Schrodinger e o uso da sua equação para as ondas de matéria foi possível obter a solução para o átomo de Hidrogênio e um entendimento de como os elétrons se “comportam” em um átomo (conceito de orbital).

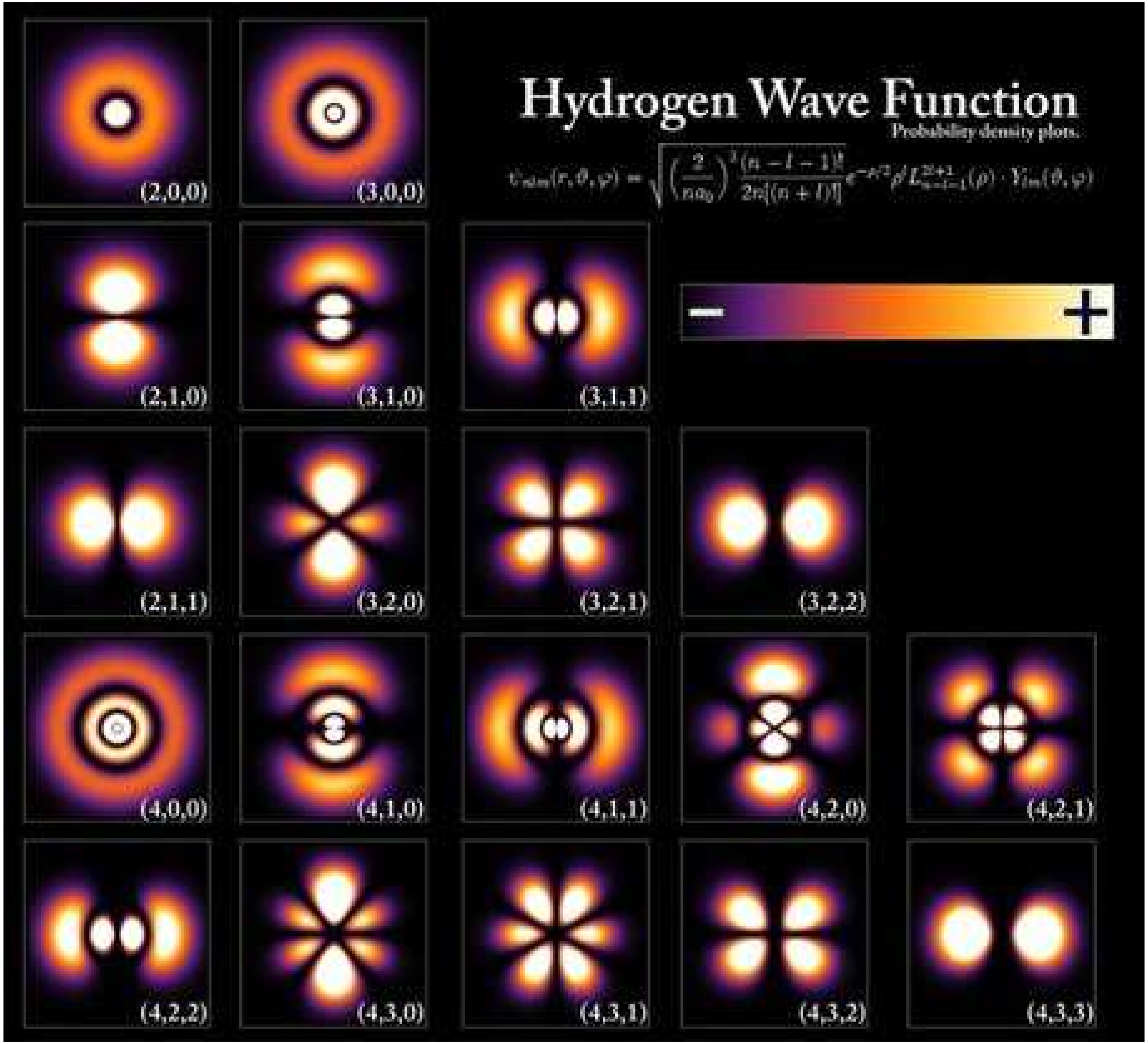
As contribuições de Schrodinger para a Física Quântica foram essenciais para que esta se estabelecesse como uma nova teoria física, que tem profundas implicações na forma como vemos a Natureza e como desenvolvemos a nossa tecnologia nos dias atuais.

Let me say at the outset, that in this discourse, I am opposing not a few special statements of quantum mechanics held today (1950s), **I am opposing as it were the whole of it**, I am opposing its basic wiews that have been shaped 25 years ago, when Max Born put forward his probability interpretation, which was accepted by almost everybody. **I don´t like it, I´m sorry I ever had anything to do with it.**

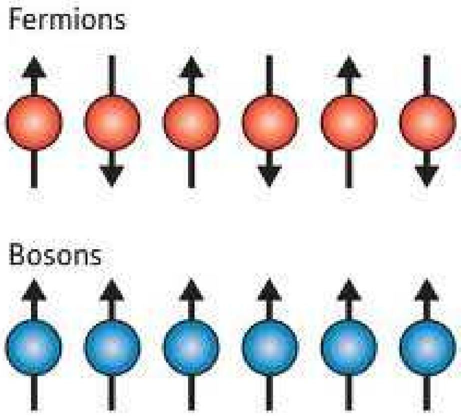
Erwin Schrodinger
(1887 – 1961)

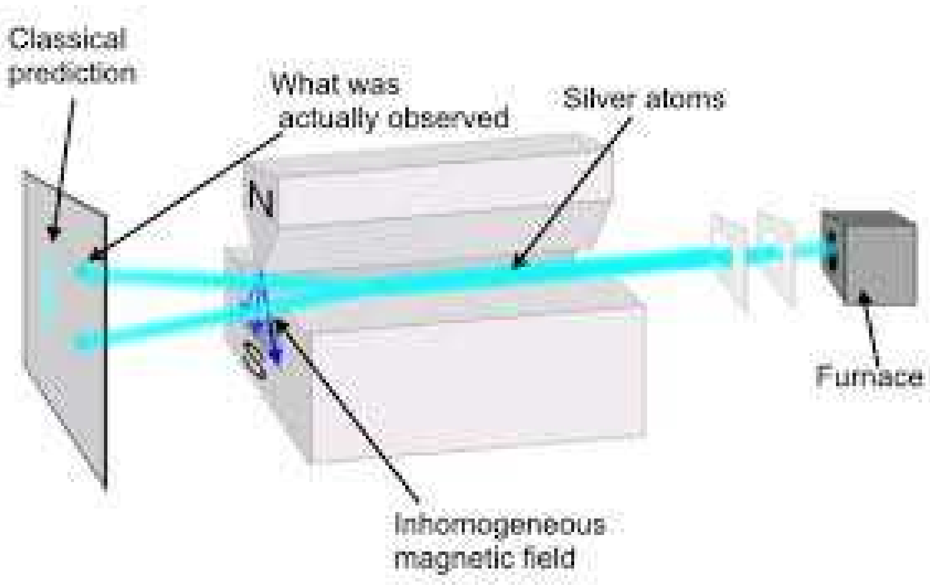


Diferentes orbitais para o átomo de UM elétron

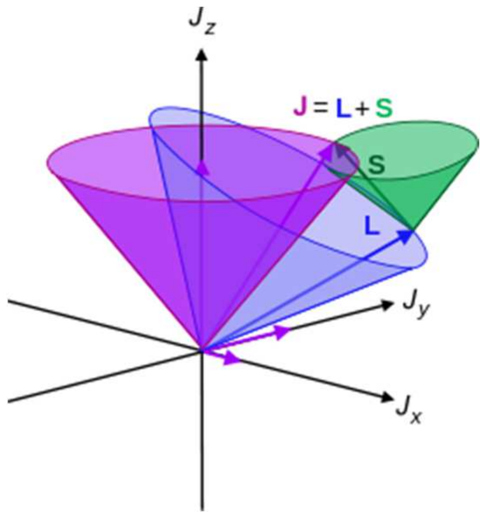


O que acontece quando um átomo tem mais de um elétron?





Stern–Gerlach experiment



Manifestação de um “novo” número quântico: **SPIN**

Na aula de hoje (26/11/19)

- Funções de ondas do átomo de Hidrogênio;
- Orbitais; Significado físico dos números quânticos atômicos;
- Imagens, Abstrações e Interpretações.

Na próxima aula (28/11/19)

- Introdução (noções gerais) aos Átomos de muitos elétrons;
- Spin (quarto número quântico atômico);
- Tabela periódica;
- O fim de um começo.

Perguntas, dúvidas, comentários, aflições?

Cronograma e conteúdo programático da disciplina (parte 1)

Semana	Dia	Aula	Conteúdo
1	~~24/09 (Ter)~~	~~1~~	~~Apresentação a disciplina; Evidências experimentais da teoria quântica : radiação do Corpo Negro.~~
	~~---~~	~~---~~	~~---~~
2	~~01/10 (Ter)~~	~~2~~	~~Evidências experimentais da teoria quântica: efeito foto-elétrico, efeito Compton, espectros atômicos~~
	~~03/10 (Qui)~~	~~3~~	~~Modelos atômicos, Modelo quântico de Bohr, Experimento de Franck-Hertz, Hipótese de de Broglie e ondas de matéria.~~
3	~~08/10 (Ter)~~	~~4~~	~~Revisitando ondas; interferência (fótons e elétrons) e interferômetros; dualidade onda-partícula e princípio de complementaridade; Principio de incerteza de Heisenberg.~~
	~~---~~	~~---~~	~~---~~
4	~~15/10 (Ter)~~	~~5~~	~~Interferômetros e fótons únicos, polarização da luz, postulados da física quântica e notação de Dirac~~
	~~17/10 (Qui)~~	~~6~~	~~Relação entre estados quânticos e funções de onda. Espaços discretos e contínuos na física quântica. Probabilidade e interpretações em Física Quântica. Gato de Schrodinger. e estados emaranhados.~~
5	~~22/10 (Ter)~~	~~7~~	~~Mecânica Quântica Ondulatória, Determinação eurística da Equação de Schrodinger, propridades da equação de Schrodinger e funções de ondas.~~
	---	---	---
6	**~~29/10 (Ter)~~**	**~~P1~~**	**~~Primeira Avaliação~~**
	~~31/10 (Qui)~~	~~8~~	~~Potenciais simples: poço de potencial, Espaço de estados e transições entre estados de energia; Elétrons em currais quânticos e o~~

Cronograma e conteúdo programático da disciplina (parte 2)

Semana	Dia	Aula	Conteúdo
7	~~05/11 (Ter)~~	~~9~~	~~Potenciais simples: poço quadrado finito; operadores e valores médios de observáveis, pontos quânticos e suas aplicações.~~
	---	---	--
8	12/11 (Ter)	~~10~~	~~Potenciais simples: potenciais degraus, reflexão, Transmissão de Ondas, Tunelamento. Tempo de tunelamento em uma barreira (revisitando o princípio de incerteza de Heisenberg). Microscópios de tunelamento e mapeamento de átomos e moléculas.~~
	14/11 (Qui)	~~11~~	~~Potenciais simples: Oscilador Harmônico Quântico. Armadilhas de íons e principios de informação quântica. Requisitos essenciais de um computador quântico.~~
9	19/11 (Ter)	~~12~~	~~Equação de Schrodinger em três dimensões: O cubo quântico (coordenadas cartesianas), O átomo de Hidrogênio (coordenadas esféricas), Separação de variáveis e a quantização de Momento Angular e Energia.~~
	---	~~---~~	~~--~~
10	26/11 (Ter)	~~13~~	~~Funções de ondas do átomo de Hidrogênio; Orbitais; Significado físico dos números quânticos atômicos. Imagens, Abstrações e Interpretações.~~
	28/11(Qui)	14	Introdução (noções gerais) aos Átomos de muitos elétrons, spin (quarto número quântico atômico) e tabela periódica. O fim de um começo.
11	**03/12 (Ter)**	**P2**	**Segunda Avaliação da Disciplina** **Quase acabando...**
	---	---	--
12	**10/12 (Ter)**	**Psub\REC**	**Avaliação Substitutiva ou Avaliação de Recuperação**
13			
	14 a 21/9		**Lançamento de conceitos e faltas**