

**MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

Nome do candidato:

Número do documento de identidade:

Número de inscrição:

Sala:

Seqüencial:

CONCURSO PÚBLICO

Cargo 15 Pesquisador



Aplicação: 23/4/2006

ÁREA DE FORMAÇÃO:

FÍSICA

MANHÃ

LEIA COM ATENÇÃO AS INSTRUÇÕES ABAIXO.

- 1 Ao receber este caderno, confira inicialmente os seus dados pessoais transcritos acima. Em seguida, verifique se ele contém cinquenta questões, correspondentes às provas objetivas, corretamente ordenadas de 1 a 50, seguidas da prova discursiva.
- 2 Caso os dados pessoais constantes neste caderno não correspondam aos seus, ou, ainda, caso o caderno esteja incompleto ou tenha qualquer defeito, solicite ao fiscal de sala mais próximo que tome as providências cabíveis.
- 3 O espaço para rascunho da prova discursiva é de uso opcional; não contará, portanto, para efeito de avaliação.
- 4 Não utilize lápis, lapiseira, borracha e(ou) qualquer material de consulta que não seja fornecido pelo CESPE/UnB.
- 5 Não serão distribuídas folhas suplementares para rascunho nem para texto definitivo.
- 6 Não se comunique com outros candidatos nem se levante sem autorização do chefe de sala.
- 7 A duração das provas é de **quatro horas e trinta minutos**, já incluído o tempo destinado à identificação — que será feita no decorrer das provas —, ao preenchimento da folha de respostas e à transcrição dos textos definitivos da prova discursiva para o caderno de textos definitivos.
- 8 Na prova discursiva, não será avaliado texto escrito a lápis, texto escrito em local indevido ou texto que tenha identificação fora do local apropriado.
- 9 Ao terminar as provas, chame o fiscal de sala mais próximo, devolva-lhe a sua folha de respostas e o caderno de textos definitivos da prova discursiva e deixe o local de provas.
- 10 A desobediência a qualquer uma das determinações constantes no presente caderno, na folha de respostas ou no caderno de textos definitivos da prova discursiva poderá implicar a anulação das suas provas.

AGENDA

- I **25/4/2006**, após as 19 h (horário de Brasília) – Gabaritos oficiais preliminares das provas objetivas: Internet — www.cespe.unb.br/concursos/inpi2006.
- II **26 e 27/4/2006** – Recursos (provas objetivas): exclusivamente no Sistema Eletrônico de Interposição de Recurso, Internet — www.cespe.unb.br/concursos/inpi2006, mediante instruções e formulários que estarão disponíveis nesse endereço.
- III **16/5/2006** – Resultados final das provas objetivas e provisório da prova discursiva: Diário Oficial da União e Internet — www.cespe.unb.br/concursos/inpi2006.
- IV **17 e 18/5/2006** – Recursos (prova discursiva): em locais e horários que serão informados na divulgação do resultado provisório.
- V **31/5/2006** – Resultado final da prova discursiva e convocação para a defesa pública de memorial e para a avaliação de títulos: locais mencionados no item III.

OBSERVAÇÕES

- Não serão objeto de conhecimento recursos em desacordo com o item 15 do Edital n.º 1/2006 – INPI, de 9/2/2006.
- Informações adicionais: telefone 0(XX) 61 3448-0100; Internet — www.cespe.unb.br/concursos/inpi2006.
- É permitida a reprodução deste material apenas para fins didáticos, desde que citada a fonte.

CESPEUnB
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

QUESTÃO	RESPOSTA				
1	A	B	C	D	E
2	A	B	C	D	E
3	A	B	C	D	E
4	A	B	C	D	E
5	A	B	C	D	E
6	A	B	C	D	E
7	A	B	C	D	E
8	A	B	C	D	E
9	A	B	C	D	E
10	A	B	C	D	E
11	A	B	C	D	E
12	A	B	C	D	E
13	A	B	C	D	E

QUESTÃO	RESPOSTA				
14	A	B	C	D	E
15	A	B	C	D	E
16	A	B	C	D	E
17	A	B	C	D	E
18	A	B	C	D	E
19	A	B	C	D	E
20	A	B	C	D	E
21	A	B	C	D	E
22	A	B	C	D	E
23	A	B	C	D	E
24	A	B	C	D	E
25	A	B	C	D	E
26	A	B	C	D	E

QUESTÃO	RESPOSTA				
27	A	B	C	D	E
28	A	B	C	D	E
29	A	B	C	D	E
30	A	B	C	D	E
31	A	B	C	D	E
32	A	B	C	D	E
33	A	B	C	D	E
34	A	B	C	D	E
35	A	B	C	D	E
36	A	B	C	D	E
37	A	B	C	D	E
38	A	B	C	D	E
39	A	B	C	D	E

QUESTÃO	RESPOSTA				
40	A	B	C	D	E
41	A	B	C	D	E
42	A	B	C	D	E
43	A	B	C	D	E
44	A	B	C	D	E
45	A	B	C	D	E
46	A	B	C	D	E
47	A	B	C	D	E
48	A	B	C	D	E
49	A	B	C	D	E
50	A	B	C	D	E

Nas questões de 1 a 50, marque, em cada uma, a única opção correta, de acordo com o respectivo comando. Para as devidas marcações, use, caso deseje, o rascunho acima e, posteriormente, a **folha de respostas**, único documento válido para a correção das suas provas.

LÍNGUA PORTUGUESA

Texto para as questões de 1 a 4.

1 Se quer seguir-me, narro-lhe; não uma aventura, mas
experiência, a que me induziram, alternadamente, séries de
raciocínios e intuições. Tomou-me tempo, desânimos,
4 esforços. Dela me prezo, sem vangloriar-me. Surpreendo-me,
porém, um tanto à-parte de todos, penetrando conhecimento
que os outros ainda ignoram. O senhor, por exemplo, que sabe
7 e estuda, suponho nem tenha idéia do que seja na verdade —
um espelho? Demais, decerto, das noções de física, com que
se familiarizou, as leis da óptica. Reporto-me ao
10 transcendente. Tudo, aliás, é a ponta de um mistério.
Inclusive, os fatos. Ou a ausência deles. Duvida? Quando
nada acontece, há um milagre que não estamos vendo.

13 Fixemo-nos no concreto. O espelho, são muitos,
captando-lhe as feições; todos refletem-lhe o rosto, e o senhor
crê-se com o aspecto próprio e praticamente imudado, do qual
16 lhe dão imagem fiel. — Mas que espelho? Há os “bons” e
“maus”, os que favorecem e os que detraem; e os que são
apenas honestos, pois não. E onde situar o nível e ponto dessa
19 honestidade ou fidedignidade? Como é que o senhor, eu, os
restantes próximos, somos, no visível? O senhor dirá: as
fotografias o comprovam. Respondo: que, além de
22 prevalecerem para as lentes das máquinas objeções análogas,
seus resultados apóiam antes que desmentem a minha tese,
tanto revelam superporem-se aos dados iconográficos os
25 índices do misterioso. Ainda que tirados de imediato um após
outro, os retratos sempre serão entre si *muito* diferentes. Se
nunca atentou nisso, é porque vivemos, de modo incorrigível,
28 distraídos das coisas mais importantes. (...) Ah, meu amigo,
a espécie humana pelega para impor ao latejante mundo um
pouco de rotina e lógica, mas algo ou alguém de tudo faz para
31 rir-se da gente... E então?

João Guimarães Rosa. *O Espelho. primeiras estórias*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 15.ª ed., 2001, p. 119-21.

QUESTÃO 1

Assinale a opção correta acerca das idéias desenvolvidas no texto.

- A Para o narrador, tudo no mundo é um mistério, com exceção dos fatos que podem ser cientificamente explicados pelas leis da física.
- B Infere-se do texto que a experiência narrada, apesar de complexa e sacrificante, orgulha o narrador porque possibilita a reformulação de uma conhecida lei da óptica.
- C O narrador reporta-se ao transcendente e acredita que tudo é um mistério que as pessoas, devido à forma como vivem, não percebem.
- D Para o narrador, as fotografias comprovam como somos no visível, ainda que os retratos seqüenciais sejam entre si muito diferentes.
- E Infere-se do texto que a tentativa de impor rotina e lógica ao mundo falha porque não há conhecimento científico suficiente a respeito de vários fatos.

QUESTÃO 2

No trecho “narro-lhe; não uma aventura, mas experiência, a que me induziram, alternadamente, séries de raciocínios e intuições” (l.1-3), mantém-se a correção gramatical do texto com a substituição de “a que” por

- A de que.
- B em que.
- C que.
- D as quais.
- E à qual.

QUESTÃO 3

Assinale a opção **incorreta** com relação ao seguinte trecho do texto: “O senhor, por exemplo, que sabe e estuda, suponho nem tenha idéia do que seja na verdade — um espelho?” (l.6-8).

- A O termo “por exemplo” está separado por vírgulas porque é uma expressão apositiva.
- B Em “que sabe e estuda”, o pronome “que” refere-se ao termo “O senhor”.
- C A inserção de uma vírgula logo após “tenha” constituiria transgressão à norma gramatical.
- D O segmento “do que seja na verdade — um espelho?” completa o sentido da palavra “idéia”.
- E Mantém-se a correção gramatical do texto caso, logo após “suponho”, seja inserido o vocábulo **que**.

QUESTÃO 4

No trecho “a espécie humana peleja para impor ao latejante mundo um pouco de rotina e lógica, mas algo ou alguém de tudo faz para rir-se da gente” (l.29-31), identifica-se oração com sentido

- A causal.
- B condicional.
- C conformativo.
- D conclusivo.
- E contrastivo.

Texto para as questões de 5 a 7.

1 O que distingue a atitude científica da atitude
costumeira ou do senso comum? Antes de mais nada, a
ciência *desconfia* da veracidade de nossas certezas, de nossa
4 adesão imediata às coisas, da ausência de crítica e da falta de
curiosidade. Por isso, onde vemos coisas, fatos e
acontecimentos, a atitude científica vê problemas e
7 obstáculos, aparências que precisam ser explicadas e, em
certos casos, afastadas.

Delimitar ou definir os fatos a investigar, separando-os
10 de outros semelhantes ou diferentes; estabelecer os
procedimentos metodológicos para observação,
experimentação e verificação dos fatos; construir instrumentos
13 técnicos e condições de laboratório específicas para a
pesquisa; elaborar um conjunto sistemático de conceitos que
formem a teoria geral dos fenômenos estudados, que
16 controlem e guiem o andamento da pesquisa, além de
ampliá-la com novas investigações, e permitam a previsão de
fatos novos com base nos já conhecidos são os pré-requisitos
19 para a constituição de uma ciência e as exigências da própria
ciência.

A ciência distingue-se do senso comum porque este é
22 uma opinião baseada em hábitos, preconceitos, tradições
cristalizadas, enquanto a primeira baseia-se em pesquisas,
investigações metódicas e sistemáticas e na exigência de que
25 as teorias sejam internamente coerentes e digam a verdade
sobre a realidade. A ciência é conhecimento que resulta de um
trabalho racional.

Marilena Chaui. *Convite à filosofia*. São Paulo: Ática,
13.ª ed., 2003, p. 218-20 (com adaptações).

QUESTÃO 5

Da leitura do texto infere-se que

- A a atitude científica se distingue do senso comum porque investiga fatos sem explicações coerentes e mais complexos do que os abordados pela tradição popular.
- B o trabalho científico, que requer investigação metódica e sistemática, baseia-se no trabalho racional, que conduz ao conhecimento.
- C a exigência de que as teorias apresentem a realidade de forma verdadeira não é aplicável a todas as investigações científicas, pois algumas ciências trabalham com teorias não-empiristas.
- D a formação de uma teoria geral por meio de elaboração de conceitos capacita o cientista a construir tradições não-cristalizadas.
- E o senso comum prejudica o desenvolvimento da sociedade, pois forma indivíduos que não se posicionam criticamente diante dos resultados das pesquisas científicas.

QUESTÃO 6

Com relação a aspectos gramaticais do texto, assinale a opção correta.

- A Na linha 1, com a substituição de “O que” por **O quê**, a correção gramatical será mantida.
- B No segmento “a ciência *desconfia* da veracidade de nossas certezas, de nossa adesão imediata às coisas, da ausência de crítica” (l.2-4), as vírgulas são empregadas para isolar a expressão explicativa.
- C No trecho “de nossa adesão imediata às coisas” (l.3-4), o emprego do acento indicativo de crase justifica-se pela regência do termo “imediata”.
- D No trecho “Por isso, onde vemos coisas, fatos e acontecimentos” (l.5-6), “onde” complementa o sentido de “coisas, fatos e acontecimentos”.
- E Estariam garantidas a coerência e a correção gramatical do texto caso as formas verbais “formem” (l.15), “controlem” (l.16), “guiem” (l.16) e “permitam” (l.17) estivessem flexionadas no singular: **forme, controle, guie e permita**.

QUESTÃO 7

No trecho “além de ampliá-la com novas investigações” (l.16-17), o pronome de terceira pessoa refere-se, no segundo parágrafo, a

- A “observação” (l.11).
- B “experimentação” (l.12).
- C “pesquisa” (l.16).
- D “previsão de fatos novos” (l.17-18).
- E “constituição de uma ciência” (l.19).

Texto para as questões de 8 a 10.

1 Freqüente indicador do processo de inovação, o
número de patentes mundiais depositadas e concedidas
anualmente revela os países com maior efervescência
4 inovadora. Segundo a Organização Mundial da Propriedade
Intellectual, em 2005, foram depositadas no planeta cerca de
134 mil patentes por meio do Tratado de Cooperação de
7 Patentes.

Embora o Brasil figure com modestas 283 patentes,
estamos na frente de Portugal (57) e dos principais países
10 parceiros do MERCOSUL e da América Latina. Indicadores
de produtividade científica atestam a qualidade da pesquisa
brasileira. Em 2005, segundo o ISI (USA), publicamos 16.950
13 artigos, que representam 1,8 % do total mundial. Além disso,
destaca-se a formação de 10.616 mil doutores.

Vivemos um momento de amadurecimento e inflexão
16 para a ciência e tecnologia (C&T) brasileira. As estratégicas
Conferências de C&T e Inovação (também na área da saúde)
e a recente Lei da Inovação ajudam a criar um ambiente
19 estimulante para que as empresas aumentem seus
investimentos em desenvolvimento tecnológico. (...) Projeções
de 2003 indicam que os Estados Unidos da
22 América (EUA) investiram US\$ 285 bilhões em pesquisa e
desenvolvimento, a União Européia, US\$ 211 bilhões, o
Japão, US\$ 114 bilhões, e a China, US\$ 85 bilhões, deixando
25 claro que integrar pesquisa, desenvolvimento tecnológico e
inovação torna essas nações mais poderosas. Não há outro
caminho a ser percorrido pelo Brasil para se tornar uma
28 grande potência.

Para uma trajetória vitoriosa, grande parcela de
responsabilidade cabe ao Congresso Nacional na aprovação
31 do orçamento de C&T de 2006 e na ampliação cada vez
maior dos recursos destinados a C&T. Esperamos dos
deputados e senadores uma atitude de parceria com a
34 comunidade científica, com os órgãos de fomento do governo
federal e as empresas, para que o país possa dar um salto
exponencial no seu desenvolvimento, ocupando lugar de
37 destaque na comunidade internacional. Assim construiremos
uma nação forte, com justiça social e melhores condições de
vida para a população.

Renato Cordeiro. *Correio Brasileiro*, 7/3/2006, p. 19 (com adaptações).

QUESTÃO 8

Considerando as idéias e as informações do texto, infere-se que

- A é necessário, para uma nação se tornar forte, que as indústrias e as empresas invistam em projetos internacionais de capacitação humana e em pesquisas sociais.
- B os EUA e a União Européia, devido aos investimentos realizados, são considerados potências tecnológicas.
- C todos os países que investem grande soma em dinheiro em pesquisas, desenvolvimento tecnológico e inovação possuem igualdade social.
- D os países da América Latina alcançavam, em 2005, uma posição de destaque no mundo acadêmico com a formação de milhares de novos cientistas.
- E o Brasil, apesar de apresentar um número insignificante de patentes, responde pelo maior número de artigos publicados em países em desenvolvimento.

QUESTÃO 9

Assinale a opção **incorreta** acerca das idéias do texto.

- A O número de patentes revela os países mais inovadores.
- B A Lei da Inovação tem contribuído para estimular o desenvolvimento tecnológico no Brasil.
- C De acordo com projeções feitas em 2003, os EUA, a União Européia e o Japão investiram valores acima de US\$ 100 bilhões em pesquisa e desenvolvimento.
- D O investimento do governo nas pesquisas que são desenvolvidas pela comunidade científica brasileira tem proporcionado ao país uma posição de destaque internacional.
- E No Brasil, é necessária a parceria entre políticos e comunidade científica, já que a aprovação do orçamento de C&T depende do Congresso Nacional.

QUESTÃO 10

Com relação a aspectos gramaticais do texto, assinale a opção correta.

- A Nas linhas 3 e 4, o trecho “os países com maior efervescência inovadora” completa o sentido da forma verbal “revela”.
- B Na linha 5, a substituição de “foram depositadas” por **foram depositados** manteria a correção gramatical e o sentido do texto.
- C Na linha 9, a forma verbal “estamos” poderia ser substituída por **está**, sem prejuízo para o sentido do texto, já que se mantém a mesma pessoa verbal.
- D No trecho “As estratégicas Conferências de C&T e Inovação (também na área da saúde) e a recente Lei da Inovação ajudam a criar” (l.16-18), a forma verbal “ajudam” poderia, opcionalmente, concordar com o sujeito mais próximo, sendo substituída por **ajuda**.
- E No trecho “que integrar pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação torna essas nações mais poderosas” (l.25-26), substituir “torna” por **tornam** manteria a correção gramatical.

LÍNGUA INGLESA

Read the following text and answer questions 11 to 20.

1 In recent years, the literature on change management and leadership has grown steadily, and applications based on research findings will be more likely to succeed. Use of tested
4 principles will also enable the change agent to avoid reinventing the proverbial wheel. Implementation principles will be followed by a review of steps in managing the
7 transition to the new system and ways of helping institutionalize the process as part of the organization's culture.

10 Members of any organization have stories to tell of the introduction of new programs, techniques, systems, or even, in current terminology, paradigms. Usually the employee, who
13 can be anywhere from the line worker to the executive level, describes such an incident with a combination of cynicism and disappointment: some managers went to a conference or in
16 some other way got a "great idea" (or did it based on threat or desperation such as an urgent need to cut costs) and came back to work to enthusiastically present it, usually mandating
19 its implementation. The "program" probably raised people's expectations that this time things would improve, that management would listen to their ideas. Such a program
22 usually is introduced with fanfare, plans are made, and things slowly return to normal. The manager blames unresponsive employees, line workers blame executives interested only in
25 looking good, and all complain about the resistant middle managers. Unfortunately, the program itself is usually seen as worthless: "we tried team building (or organization
28 development or quality circles or what have you) and it didn't work; neither will TQM*". Planned change processes often work, if conceptualized and implemented properly; but,
31 unfortunately, every organization is different, and the processes are often adopted "off the shelf". "The organization buys a complete program, like a 'quality circle package,' from
34 a dealer, plugs it in, and hopes that it runs by itself" (Kanter, 1983, 249). Alternatively, especially in the underfunded public and notforprofit sectors, partial applications are tried,
37 and in spite of management and employee commitments, do not bear fruit.

* Total Quality Management

Internet: <www.improve.org/tqm.html> (with adaptations).

QUESTÃO 11

"In recent years, the literature on change management and leadership has grown steadily" (l.1-2) is the same as

- A Lately, the writings about change administration and leadership have constantly been increased.
- B Presently, the literature on change management and leadership mutation will have grown rapidly.
- C Recent writings on management and leadership have drastically changed.
- D At present, the literature about leadership and management is growing fast.
- E Nowadays, the writings on administration and leadership have dramatically changed.

QUESTÃO 12

According to the text,

- A the change agents are now supposed to recreate the proverbial wheel.
- B the change agents will be able to put into practice tested ideas or rules.
- C checked principles will enable the agent to avoid changes.
- D changes will be based on the agents' own principles.
- E the agents' principle will be able to be tested.

QUESTÃO 13

From the text, it can be correctly deduced that a "conference" (l.15)

- A is the best way to get familiar with the best ideas.
- B is where costs can be cut.
- C can play a misleading role in organizational development.
- D is the suitable tool for managers to supply their urgent needs.
- E is the best way to avoid a company's failure.

QUESTÃO 14

Based on the text, choose the correct option.

- A Seldom do employees doubt the efficacy of new organizational methodologies.
- B The employee's experience with new programs, techniques, systems and paradigms has been rewarding.
- C New organizational paradigms are now unquestionable devices to help enterprises to prosper.
- D The line worker and the executive level disagree as far as the role of the middle managers are concerned.
- E Organization members have old stories to tell about innovative programs.

QUESTÃO 15

According to the text, the new programs

- A always come up to people's expectations.
- B are fated to be a success.
- C may become too much fuss about nothing.
- D can never fail.
- E fail to succeed because of the clients.

QUESTÃO 16

From the text, it can be correctly deduced that

- A planned change processes simply do not work.
- B there should be the same planned processes for any company.
- C "off the shelf" processes can suit different companies.
- D every company should follow the same change process.
- E planned change processes must cope with the enterprise characteristics.

QUESTÃO 17

According to the text,

- A a "quality circle package" (l.33) is all that is needed to deal with business problems.
- B a ready-made program is particularly useful to underfunded public sectors.
- C management and employee interests can make a new program bear fruit.
- D TQM is a suitable tool for some companies, if adequately installed.
- E TQM does not work properly for government organizations at all.

QUESTÃO 18

A suitable paraphrase of "Implementation principles will be followed by a review of steps" (l.5-6) is

- A Implementation principles are going to follow a review of steps.
- B A review of steps will be followed by implementation principles.
- C Implementation principles will follow a review of steps.
- D A review of steps will follow implementation principles.
- E A review of steps is going to be followed by implementation principles.

QUESTÃO 19

In line 18, "mandating" can be correctly replaced by

- A asking.
- B ordering.
- C begging.
- D checking.
- E evaluating.

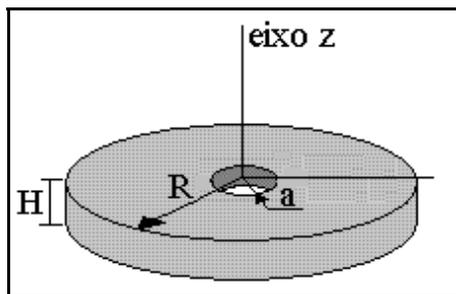
QUESTÃO 20

In lines 17 and 18, "came back" refers to

- A "some managers" (l.15).
- B "The manager" (l.23).
- C "unresponsive employees" (l.23-24).
- D "line workers" (l.24).
- E "executives" (l.24).

CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

QUESTÃO 21



A figura acima ilustra um disco rígido homogêneo de massa M , raio R e espessura H com um furo de raio a em seu centro. Considerando-se que o tensor momento de inércia de um corpo rígido pode ser escrito como $I = \int \rho(\vec{r})(r^2 \mathbf{1} - \vec{r}\vec{r}) dV$, onde $\mathbf{1}$ é o tensor identidade, $\vec{r}\vec{r}$ é um produto diádico dos vetores posição e $\rho(\vec{r})$ é a densidade local de massa, assinale a opção que contém o momento de inércia I_{dis} correto para esse corpo.

A $I_{dis} = M\pi H \begin{pmatrix} \frac{R^4 - a^4}{2} + \frac{H^2(R^2 - a^2)}{6} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^4 - a^4}{2} + \frac{H^2(R^2 - a^2)}{6} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^4 - a^4}{2} \end{pmatrix}$

B $I_{dis} = M\pi H \begin{pmatrix} \frac{R^4 - a^4}{4} + \frac{H^2(R^2 + a^2)}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^4 - a^4}{4} + \frac{H^2(R^2 + a^2)}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^4 + a^4}{2} \end{pmatrix}$

C $I_{dis} = M\pi H \begin{pmatrix} \frac{R^4 - a^4}{4} + \frac{H^2(R^2 - a^2)}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^4 - a^4}{4} + \frac{H^2(R^2 - a^2)}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^4 - a^4}{2} \end{pmatrix}$

D $I_{dis} = M\pi H \begin{pmatrix} \frac{R^4 + a^4}{2} + \frac{H^2(R^2 + a^2)}{6} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^4 + a^4}{2} + \frac{H^2(R^2 + a^2)}{6} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^4 + a^4}{4} \end{pmatrix}$

E $I_{dis} = M\pi H \begin{pmatrix} \frac{R^4 - a^4}{4} + \frac{H^2(R^2 - a^2)}{6} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^4 - a^4}{4} + \frac{H^2(R^2 - a^2)}{6} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^4 - a^4}{2} \end{pmatrix}$

QUESTÃO 22

RASCUNHO

A mecânica clássica pode ser expressa sob as formas Lagrangiana e Hamiltoniana. Na interação do campo eletromagnético com a matéria, o Hamiltoniano deve ser escrito como

$$H = \frac{1}{2m} \left(\vec{p} - \frac{q}{c} \vec{A} \right)^2 + q\phi, \text{ onde } \vec{A}, \phi \text{ são os potenciais vetor e$$

escalar e \vec{p}, m são o momento linear e a massa. Acerca dessa interação, assinale a opção que contém as equações de movimento corretas.

- A $\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{\vec{p}}{m}$ e $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{q}{c} \nabla(\vec{v} \cdot \vec{A}) - q\nabla\phi$
- B $\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{q}{c} \nabla(\vec{v} \cdot \vec{A}) - q\nabla\phi$
- C $\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{1}{m} \left(\vec{p} - \frac{q}{c} \vec{A} \right)$ e $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{q}{c} \nabla(\vec{v} \cdot \vec{A}) - q\nabla\phi$
- D $\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{1}{m} \left(\vec{p} - \frac{q}{c} \vec{A} \right)$ e $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{q}{c} \nabla(\vec{v} \cdot \vec{A}) + q\nabla\phi$
- E $\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{q}{c} \nabla(\vec{v} \cdot \vec{A}) + q\nabla\phi$

QUESTÃO 23

O uso da formulação Hamiltoniana possibilita um olhar mais profundo com relação à estrutura formal da mecânica clássica e tem grandes conseqüências para a mecânica quântica. Um dos elementos formais mais importantes do formalismo Hamiltoniano é o parêntese de Poisson. Considere-se que a transformação

$$Q_1 = q_1; Q_2 = p_2; P_1 = p_1 - 2p_2; P_2 = -2q_1 - q_2$$

seja canônica e que se tem duas funções dadas por

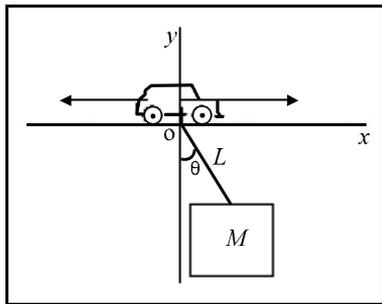
$$H(q_1, p_1) = p_1^2 + p_2^2 - 2q_2 \text{ e } G(q_1, p_1) = p_1^2.$$

Em relação aos parênteses de Poisson $[H, Q]_{p_1, q_1}$ e $[H, Q]_{P_1, Q_1}$, tomados em relação às variáveis q_1, p_1 e Q_1, P_1 , respectivamente, assinale a opção correta.

- A $[H, G]_{q_1, p_1} = 0$ e $[H, G]_{Q_1, P_1} = -16P_1 + 32Q_2$
- B $[H, G]_{q_1, p_1} = 16p_1$ e $[H, G]_{Q_1, P_1} = 16P_1 - 32Q_2$
- C $[H, G]_{q_1, p_1} = -16q_1 - 32p_1$ e $[H, G]_{Q_1, P_1} = -16P_1 - 32Q_2$
- D $[H, G]_{q_1, p_1} = 0$ e $[H, G]_{Q_1, P_1} = 0$
- E $[H, G]_{q_1, p_1} = 0$ e $[H, G]_{Q_1, P_1} = 16P_1 + 32Q_2$

Texto para as questões 24 e 25.

RASCUNHO



As formulações Lagrangiana e Hamiltoniana da mecânica clássica possuem, além de grande interesse teórico, amplo campo de aplicação na solução de problemas. Nas questões 24 e 25, considere uma situação em que temos um corpo de massa M , pendurado por uma corda sem peso de comprimento L , presa a um carro capaz de se mover sobre um plano, como mostrado na figura acima. O carro move-se segundo a equação $x_c(t) = x_0 \cos \omega t$. Considere os eixos x e y como apresentados na figura e assumo o eixo x como sendo o eixo de referência para a energia potencial.

QUESTÃO 24

Em relação ao problema descrito acima, a expressão que relaciona o momentum p_θ com a velocidade $\dot{\theta}$ é dada por

- A $\dot{\theta} = \frac{x_0 \omega \sin \omega t}{L}$.
- B $\dot{\theta} = \frac{p_\theta - Mx_0 L \omega \sin \omega t}{Ml^2}$.
- C $\dot{\theta} = \frac{P_\theta + Mx_0^2 \omega \sin \omega t}{ML^2}$.
- D $\dot{\theta} = \frac{p_\theta + Mx_0 L \omega}{ML^2}$.
- E $\dot{\theta} = \frac{p_\theta + Mx_0 L \omega \sin \omega t}{ML^2}$.

QUESTÃO 25

Ainda com relação ao problema descrito acima, assinale a opção que representa corretamente as equações de movimento do problema na formulação hamiltoniana.

- A $\frac{P_\theta}{ML^2} - \frac{x_0^2 \omega}{2L^2}$ e $-MgL \sin \theta = \dot{p}_\theta$
- B $\frac{p_\theta}{ML^2} - \frac{x_0 \omega}{2L} \sin \omega t = \dot{\theta}$ e $MgL \sin \theta = \dot{p}_\theta$
- C $\frac{p_\theta}{ML^2} + \frac{x_0 \omega}{2L} \sin \omega t = \dot{\theta}$ e $-MgL \sin \theta = \dot{p}_\theta$
- D $\frac{p_\theta}{ML^2} + \frac{x_0 \omega}{2L} = \dot{\theta}$ e $-MgL \sin \theta = \dot{p}_\theta$
- E $\frac{p_\theta}{ML^2} - \frac{x_0 \omega}{2L} \sin \omega t = \dot{\theta}$ e $-MgL \sin \theta = \dot{p}_\theta$

QUESTÃO 28

RASCUNHO

Um cilindro longo de raio a é atravessado por uma densidade de corrente dada por $\vec{J} = Jr\hat{k}$, onde r é a distância medida a partir do eixo do cilindro. Assinale a opção que apresenta a expressão correta para o módulo da indução magnética no interior do cilindro.

- A $B = \frac{\mu_0 Jr^2}{3}$.
- B $B = \frac{\mu_0 Jr^2}{6}$.
- C $B = \frac{\mu_0 Ja^3}{6r}$.
- D $B = \frac{\mu_0 Ja^2}{3}$.
- E $B = \frac{\mu_0 J(r^2 - a^2)}{6}$.

QUESTÃO 29

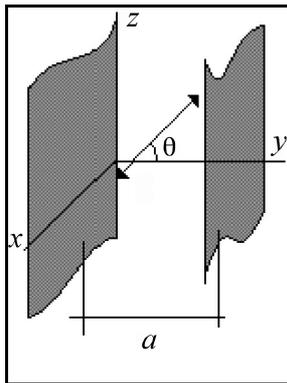
Considere um plano infinito (posicionado sobre o plano matemático xy) na superfície do qual existe uma densidade de corrente por unidade de comprimento, uniforme, dada por $\vec{J} = K\hat{i}$, em que K é uma constante. Assumindo que \hat{i} , \hat{j} , \hat{k} são os vetores unitários nas direções x , y e z , respectivamente, que μ_0 é a permeabilidade magnética e considerando a lei de Ampère, assinale a opção que corresponde à expressão correta para a indução magnética \vec{B} .

- A $\vec{B} = \frac{\mu_0 K}{2} \hat{j}$ para $z > 0$ e $\vec{B} = -\frac{\mu_0 K}{2} \hat{j}$ para $z < 0$.
- B $\vec{B} = \frac{\mu_0 K}{2} \hat{j}$ para $z < 0$ e $\vec{B} = -\frac{\mu_0 K}{2} \hat{j}$ para $z > 0$.
- C $\vec{B} = \frac{\mu_0 K}{2} \hat{i}$ para $z < 0$ e $\vec{B} = -\frac{\mu_0 K}{2} \hat{i}$ para $z > 0$.
- D $\vec{B} = -\frac{\mu_0 K}{2} \hat{i}$ para $z < 0$ e $\vec{B} = \frac{\mu_0 K}{2} \hat{i}$ para $z > 0$.
- E $\vec{B} = \frac{\mu_0 K}{2} \hat{i}$ em todo o espaço acima e abaixo do plano.

Texto para as questões 30 e 31.

RASCUNHO

O conhecimento da forma pela qual se dá a propagação de ondas eletromagnéticas em guias de ondas tem enorme importância para diversas áreas de aplicação da teoria eletromagnética. Em particular, encontra enorme aplicação no campo das telecomunicações como, por exemplo, na construção de fibras óticas ou em sistemas de microondas. Considere a situação mostrada na figura ao lado em que se tem dois planos metálicos infinitos, dados por $y=0$ e $y=a$, além de um campo elétrico linearmente polarizado na direção x (condição de polarização TE, transversal elétrica). Considere ainda que o vetor de onda da radiação \vec{K} faz um ângulo θ com o eixo y .



QUESTÃO 30

A imposição de condições de contorno nos dois planos para a solução geral do problema (a solução da equação de onda) implica numa solução para o vetor campo elétrico \vec{E} com amplitude E . Considerando que $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ são os vetores unitários nas direções x, y e z , respectivamente, que ω é a frequência angular da onda incidente e que $i = \sqrt{-1}$, assinale a opção que apresenta a solução correta para \vec{E} .

- A $\vec{E} = \hat{j}2iE \sin(Ky \cos \theta) e^{i(Kz \sin \theta - \omega t)}$
- B $\vec{E} = \hat{i}2iE \sin(Ky \cos \theta) e^{i(Kz \sin \theta - \omega t)}$
- C $\vec{E} = \hat{i}2iE \sin(Kx \cos \theta) e^{i(Kz \sin \theta - \omega t)}$
- D $\vec{E} = \hat{i}2iE \sin(Ky \cos \theta) e^{i(Kx \sin \theta - \omega t)}$
- E $\vec{E} = \hat{i}2iE \sin(Ky \sin \theta) e^{i(Kz \cos \theta - \omega t)}$

QUESTÃO 31

As guias de onda apresentam um comprimento de onda de corte. Considerando que $\lambda_g = \frac{2\pi}{K \sin \theta}$, $\lambda_c = \frac{2\pi}{K \cos \theta}$ e $\lambda_0 = \frac{2\pi}{K}$ obedecem

à relação $\frac{1}{\lambda_g^2} + \frac{1}{\lambda_c^2} = \frac{1}{\lambda_0^2}$ e que $\lambda_c = \frac{2a}{n}$, nesse caso, só podem existir no interior da guia, ondas com comprimentos de onda

- A maiores do que $\lambda_0 = 2a$, sendo esse o comprimento de onda de corte para $n=1$.
- B menores do que $\lambda_0 = 4a$, sendo esse o comprimento de onda de corte para $n=1$.
- C menores do que $\lambda_0 = \frac{a}{2}$, sendo esse o comprimento de onda de corte para $n=1$.
- D maiores do que $\lambda_0 = 4a$, sendo esse o comprimento de onda de corte para $n=1$.
- E menores do que $\lambda_0 = 2a$, sendo esse o comprimento de onda de corte para $n=1$.

QUESTÃO 32**RASCUNHO**

A formulação covariante do eletromagnetismo, considerada aqui no sistema cgs, baseia-se na representação das quantidades relevantes como escalares, quadrivetores e tensores, cujos índices podem ser feitos variar entre 0 e 3 (0 sendo a componente relativa ao tempo). Considerando o tensor intensidade de campo como $F^{\alpha\beta} = \partial^\alpha A^\beta - \partial^\beta A^\alpha$, em que A é o quadrivetor potencial, dado por $A^\alpha = (\varphi, \vec{A})$ (sendo φ o potencial escalar e \vec{A} o potencial vetor), e ainda que \vec{B} é o vetor indução magnética, B_z sua componente na direção do eixo z , \vec{E} o vetor campo elétrico, e E_x sua componente na direção do eixo x , assinale a opção correta.

- A $F^{12} = -B_z$
- B $F^{10} = -E_x$
- C $F^{12} = B_z$
- D $F^{23} = -B_z$
- E $F^{00} = E_x$

No âmbito da Física Estatística, a função partição ocupa lugar privilegiado para o cálculo de propriedades estatísticas de sistemas físicos, pois fornece uma prescrição quase universal para a abordagem quantitativa de tais sistemas. Com relação à função partição, responda as questões 33 e 34.

QUESTÃO 33

Supondo que o sistema físico é constituído de um conjunto infinito de osciladores harmônicos quânticos com frequência natural ω_0 , assinale a opção que apresenta a expressão correta para a energia média do sistema físico a uma dada temperatura T .

- A $\bar{E} = \hbar\omega_0 \left(\frac{1}{e^{\beta\hbar\omega_0} - 1} \right)$
- B $\bar{E} = \hbar\omega_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{e^{\beta\hbar\omega_0} + 1} \right)$
- C $\bar{E} = \hbar\omega_0 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{e^{\beta\hbar\omega_0} - 1} \right)$
- D $\bar{E} = \hbar\omega_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{e^{\beta\hbar\omega_0} - 1} \right)$
- E $\bar{E} = \hbar\omega_0 / 2$

QUESTÃO 34**RASCUNHO**

No estudo dos gases monoatômicos, a função partição cumpre papel importante, pois permite calcular suas propriedades de modo fácil e rápido, caso seja possível considerar o gás suficientemente diluído para poder desprezar o potencial entre as partículas que o compõem. Considerando N o número de partículas, T a temperatura, V o volume, P a pressão, m a massa das partículas do gás, $\beta = kT$, em que k é a constante de Boltzmann e h_0 uma constante dimensional, assinale a opção que fornece a expressão correta para a função partição desse gás.

A $Z = V^N \exp\left(-\frac{3N\pi m}{2h_0^2\beta}\right)$

B $Z = V^N \left(\frac{h_0^2\beta}{2\pi m}\right)^{3N/2}$

C $Z = V^N \left(\frac{2\pi m}{h_0^2\beta}\right)^{3N/2}$

D $Z = V^{3N} \left(\frac{h_0^2\beta}{2\pi m}\right)^{3N/2}$

E $Z = \frac{3N}{2} V^N \exp\left(-\frac{\pi m}{h_0^2\beta}\right)$

QUESTÃO 35

Considere um material cuja interação entre seus átomos componentes pode ser desprezada (ou tratada como um reservatório térmico). Considere também que os átomos desse material possuem spins não compensados que só podem apontar na direção de um campo magnético externo ou na direção oposta, sendo que todos possuem momento magnético μ . Assinale a opção que fornece a expressão correta para o momento magnético médio quando o material estiver sujeito a um campo magnético \vec{H} e a uma temperatura T , considerando que k é a constante de Boltzmann.

A $\bar{\mu}_H = \mu H / kT$

B $\bar{\mu}_H = \mu \tanh(\mu H / kT)$

C $\bar{\mu}_H = \mu H / 2kT$

D $\bar{\mu}_H = \mu \coth(\mu H / kT)$

E $\bar{\mu}_H = 0$

QUESTÃO 36

Nos seus primórdios, a física quântica se constituiu a partir de alguns fenômenos cruciais para os quais explicações clássicas não podiam ser encontradas. A explicação sistemática desses fenômenos só foi conhecida após o estabelecimento da mecânica quântica, em meados da década de 20 do século passado. Considerando-se esses fenômenos, assinale a opção **incorreta**.

- Ⓐ A radiação de corpo negro resistia a uma explicação clássica, pois o tratamento clássico da radiação implicava em discordância dos valores experimentais para altas frequências, fenômeno conhecido como catástrofe do ultravioleta.
- Ⓑ O efeito fotoelétrico não pode ser explicado por um modelo ondulatório (com energias contínuas) da radiação eletromagnética, pois isso implicaria na ejeção de elétrons da placa iluminada, independentemente da frequência da radiação utilizada.
- Ⓒ A explicação do efeito Compton foi feita em bases corpusculares. Ela assume a validade estrita da lei de conservação da energia e do momentum.
- Ⓓ O comportamento dual da matéria, que se comporta em alguns experimentos como onda e, em outros, como corpúsculo, foi posteriormente subsumido ou interpretado sob a figura das Relações de Incerteza de Heisenberg. O fato de não poder haver um comportamento dual em um mesmo experimento constitui a afirmação básica do Princípio de Complementaridade.
- Ⓔ A contribuição de Planck para a explicação da radiação de corpo negro foi a de assumir que havia fótons no interior da cavidade e esses se distribuíam segundo energias discretas.

QUESTÃO 37

A mecânica quântica foi formalmente estabelecida, juntamente com sua interpretação, em 1927 no congresso Solvay. Nessa época já eram conhecidas as formulações de Heisenberg (matricial), de Schrödinger (Equação de Schrödinger) e de Dirac (números q). Acerca da formulação matricial da mecânica quântica, considere um hamiltoniano que descreve um sistema tridimensional e que pode ser representado em uma base

ortonormal pela matriz $H = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}$. Suponha, para este

sistema físico, que a energia E do sistema foi medida e que foi encontrado um valor $E=1$. Em seguida foi feita uma medida sobre uma variável A que pode ser descrita na mesma base pela matriz

$A = \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & i \\ 0 & -i & 2 \end{bmatrix}$. Assinale a opção que fornece corretamente os

possíveis resultados para a medida da variável A .

- Ⓐ $a_1=2, a_2=3$ e $a_3=5$.
- Ⓑ $a_1=1, a_2=4$ e $a_3=5$.
- Ⓒ $a_1=1, a_2=3$ e $a_3=5$.
- Ⓓ $a_1=1, a_2=3$ e $a_3=6$.
- Ⓔ $a_1=1, a_2=3$ e $a_3=4$.

Texto para as questões 38 e 39.

Problemas concretos em mecânica quântica estão sempre associados à solução de uma equação de Schrödinger que os representa matematicamente. A solução desta equação, entretanto, nem sempre pode ser obtida de maneira analítica fechada. Assim, é necessário desenvolver métodos aproximativos quando a solução analítica não está disponível. Nas questões 38 e 39, são considerados dois métodos aproximativos para tratar a equação de Schrödinger para um oscilador anarmônico simples descrito por um potencial $V = \frac{1}{2}x^2 + \lambda x^4$, em que λ é um parâmetro. Considere $\hbar = m = 1$, em que m é a massa do oscilador.

QUESTÃO 38

Com relação ao problema descrito acima, considere a solução variacional aproximada dada por $\psi(x) = e^{-\xi x^2/2}$. Assinale a opção que fornece a expressão correta para a energia E em termos da variável ξ e a equação que fornece o valor de ξ .

- Ⓐ $E = \frac{\xi}{4} + \frac{1}{4\xi} + \frac{5\lambda}{4\xi^2}$ calculada para $\xi^3 - \xi - 10\lambda = 0$.
- Ⓑ $E = \frac{\xi}{4} + \frac{1}{4\xi} + \frac{\lambda}{4\xi^2}$ calculada para $\xi^3 - \xi - 2\lambda = 0$.
- Ⓒ $E = \frac{\xi}{4} + \frac{2}{4\xi} + \frac{3\lambda}{4\xi^2}$ calculada para $\xi^3 - 2\xi - 2\lambda = 0$.
- Ⓓ $E = \frac{\xi}{4} + \frac{2}{4\xi} + \frac{3\lambda}{4\xi^2}$ calculada para $\xi = \lambda$.
- Ⓔ $E = \frac{\xi}{4} + \frac{1}{4\xi} + \frac{3\lambda}{4\xi^2}$ calculada para $\xi^3 - \xi - 6\lambda = 0$.

RASCUNHO

QUESTÃO 39

RASCUNHO

Ainda em relação ao problema do oscilador anarmônico, considere que o parâmetro λ é suficientemente pequeno para justificar uma solução aproximada pelo método das perturbações independentes do tempo. Assinale a opção que fornece a expressão correta para a energia do problema em primeira aproximação.

Ⓐ $E = \frac{1}{2} + \frac{3\lambda}{4}$

Ⓑ $E = \frac{1}{2} - \frac{3\lambda}{4}$

Ⓒ $E = \frac{1}{2} + \frac{3\lambda}{2}$

Ⓓ $E = \frac{1}{2} + \frac{3\lambda^2}{4}$

Ⓔ $E = \frac{1}{2} + \frac{3\lambda^3}{4}$

QUESTÃO 40

A noção de momento angular em mecânica quântica possui diversas peculiaridades que derivam do fato de, em termos clássicos, o momento angular ser descrito por um produto vetorial. Considere que um corpo com momento de inércia $I_x = I_y$ e I_z seja descrito pelo Hamiltoniano $H = \frac{1}{2I_x}(L_x^2 + L_y^2) + \frac{1}{2I_z}L_z^2$

e que ℓ é o número quântico associado ao momento angular total e m é o número quântico associado ao momento angular na direção z . Assinale a opção que contém a expressão correta para os autovalores de energia $E_{\ell m}$.

Ⓐ $E_{\ell m} = \frac{\hbar^2}{2I_x} \ell(\ell+1) + \left(\frac{1}{2I_z} - \frac{1}{2I_x} \right) \hbar^2 m^2$

Ⓑ $E_{\ell m} = \frac{\hbar^2}{2I_x} \ell^2 + \frac{1}{2I_z} \hbar^2 m^2$

Ⓒ $E_{\ell m} = \frac{\hbar^2}{2I_x} \ell(\ell+1) - \left(\frac{1}{2I_z} - \frac{1}{2I_x} \right) \hbar^2 m^2$

Ⓓ $E_{\ell m} = \frac{\hbar^2}{2I_x} \ell(\ell+1) + \left(\frac{1}{2I_z} + \frac{1}{2I_x} \right) \hbar^2 m^2$

Ⓔ $E_{\ell m} = \frac{\hbar^2}{2I_x} \ell(\ell-1) - \left(\frac{1}{2I_z} - \frac{1}{2I_x} \right) \hbar^2 m^2$

QUESTÃO 41

Ainda a respeito do momento angular, considere as seguintes relações:

$$L_+ = L_x + iL_y; L_- = L_x - iL_y,$$

$$L_{\pm} |lm\rangle = \hbar \sqrt{l(l+1) - m(m \pm 1)} |l, m \pm 1\rangle,$$

$$L_z = m\hbar |lm\rangle \text{ e } L^2 |lm\rangle = l(l+1)\hbar^2 |lm\rangle.$$

Considerando que o sistema esteja em um estado dado por $l=1$ e usando

a base $|1\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$, $|0\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, $|-1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, assinale a opção em que o

operador L_x se encontra escrito corretamente na forma matricial.

A $L_x = \frac{\hbar}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

B $L_x = \frac{\hbar}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

C $L_x = \frac{\hbar}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & i \\ 0 & -i & 0 \end{bmatrix}$

D $L_x = \frac{\hbar}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & i & 0 \\ -i & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{bmatrix}$

E $L_x = \frac{\hbar}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

Texto para as questões 42 e 43.

Com relação ao spin, é comum se afirmar que o mesmo não tem equivalente clássico, sendo uma propriedade eminentemente quântica. Para ter um equivalente clássico, é preciso que uma grandeza possa ser escrita no espaço de fase e que, uma vez aplicadas as regras de quantização, essa grandeza clássica adquira as propriedades quânticas. Com relação a essas afirmações, considere, para as duas questões a seguir, as representações funcionais dos geradores do grupo SU(3), dadas por

$$L_x = yp_z - zp_y, \quad L_y = zp_x - xp_z, \quad L_z = xp_y - yp_x,$$

$$Q_{xy} = \alpha xy + \beta p_x p_y, \quad Q_{yz} = \alpha yz + \beta p_y p_z, \quad Q_{zx} = \alpha zx + \beta p_x p_z,$$

$$Q_0 = \alpha xy + \beta p_x p_y, \quad Q_{yz} = \alpha yz + \beta p_y p_z, \quad Q_{zx} = \alpha zx + \beta p_x p_z,$$

$$Q_0 = \frac{\alpha}{2\sqrt{3}}(x^2 + y^2 - 2z^2) + \frac{\beta}{2\sqrt{3}}(p_x^2 + p_y^2 - 2p_z^2),$$

$$Q_1 = \frac{\alpha}{2}(x^2 - y^2) + \frac{\beta}{2}(p_x^2 - p_y^2).$$

Considere também as funções

$$S_1 = \frac{1}{2}Q_1, \quad S_2 = \frac{1}{2}Q_{xy}, \quad S_3 = \frac{1}{2}Q_z \text{ e assuma que}$$

$$\alpha = \beta = 1.$$

QUESTÃO 42

Com respeito à descrição clássica das funções S_1, S_2, S_3 , assinale a opção **incorreta**.

A Um potencial de interação escrito como o hamiltoniano

$$H_{\text{int}} = -\frac{e}{mc} B_3 S_3 = -\frac{gB_z}{mc} S_3 = -\omega_1 S_3, \text{ onde o}$$

fator giromagnético deve ser $g=2$, implica nas equações clássicas $\dot{S}_1 = \omega_1 S_2, \dot{S}_2 = -\omega_1 S_1, \dot{S}_3 = S_c$, onde S_c é uma constante.

B Definindo a função $H = \frac{1}{2}(p_x^2 + p_y^2) + \frac{1}{2}(x^2 + y^2)$,

tem-se que os parênteses de Poisson $\{H, S_3\} = \{H, S^2\} = 0$, onde $S^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$.

H , entendido como um hamiltoniano, representa um oscilador harmônico bidimensional.

C As funções S_1, S_2, S_3 comutam, segundo o parênteses de Poisson, com a função $S^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$.

D A igualdade $S^2 = \frac{1}{4}H^2$ deve valer.

E Valem as seguintes regras de comutação, segundo o parênteses de Poisson: $\{S_i, S_j\} = \sum_k \epsilon_{ijk} S_k$, onde ϵ_{ijk} é o tensor anti-simétrico.

RASCUNHO

QUESTÃO 43

A passagem das funções S_1, S_2, S_3 para os operadores $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$ na representação quântica implica em várias conseqüências. Com relação a tal passagem e ao formalismo quântico para os spins, julgue os itens a seguir.

- I Se é aplicada a prescrição $x_i \rightarrow \hat{x}_i, p_i \rightarrow -i\hbar\partial/\partial x_i$, para fazer a passagem de funções para operadores, então os operadores resultantes para uma tal transformação sobre as funções $\hbar\sigma_1, \hbar\sigma_2, \hbar\sigma_3$ obedecem às regras de comutação $[\hat{\sigma}_i, \hat{\sigma}_j] = 2i\hbar\varepsilon_{ijk}\hat{\sigma}_k$, onde $[,]$ representa o colchetes de Dirac.
- II Definindo a anticomutação clássica como sendo $\{f, g\}_a = \sum_i \partial_{x_i} f \partial_{p_i} g + \partial_{p_i} f \partial_{x_i} g$, então as funções $\hbar\sigma_i$ satisfazem a relação $\{\hbar\sigma_i, \hbar\sigma_j\}_a = 2\hbar f \delta_{ij}$, em que $f = \hbar(x_1 p_1 + x_2 p_2)$ e δ_{ij} é o delta de Kroenecker.
- III A função $f = \hbar(x_1 p_1 + x_2 p_2)$ satisfaz a relação $\{\hbar\sigma_i, f\}_a = 2\hbar\sigma_i$, de modo que f funciona como uma identidade relativamente à operação de anticomutação.

Assinale a opção correta.

- A Nenhum item está correto.
- B Apenas os itens I e II são corretos.
- C Apenas os itens I e III são corretos.
- D Apenas os itens II e III são corretos.
- E Todos os itens são corretos.

RASCUNHO

Texto para as questões 44 e 45.

A interação dos campos eletromagnéticos com a matéria carregada é um tema da maior importância para a física, uma vez que a força eletromagnética é prevalente nos sistemas atômicos, moleculares e de estado sólido. A passagem da descrição clássica para a descrição quântica assume, portanto, grande relevância, pois é no domínio quântico que tais sistemas atômicos, moleculares e de estado sólido encontram uma descrição adequada. Nas duas questões que se seguem, assumamos que \vec{E} é o campo elétrico, \vec{B} é o campo magnético, \vec{A} e ϕ são os potenciais vetor e escalar, m a massa e c é a velocidade da luz.

QUESTÃO 44

A mudança de calibre para os potenciais eletromagnéticos pode implicar no aparecimento de uma fase local na função de onda. Se o operador hamiltoniano de um sistema físico envolvendo o campo eletromagnético é dado por

$$\hat{H} = \frac{1}{2m} \left(-i\hbar\nabla - \frac{q}{c} \vec{A}(\vec{r}, t) \right)^2 + q\phi(\vec{r}, t)$$

e se for feita uma mudança de calibre dada por $\vec{A} \rightarrow \vec{A}_1 = \vec{A} + \nabla f(\vec{r}, t)$ e $\phi \rightarrow \phi_1 = \phi - \frac{1}{c} \frac{\partial f(\vec{r}, t)}{\partial t}$, então, a forma segundo a qual $\psi(\vec{r}, t)$ se transforma é

- A $\psi(\vec{r}, t) \rightarrow \psi_1(\vec{r}, t) = e^{iq\phi(\vec{r}, t)/\hbar c} \psi(\vec{r}, t)$.
- B $\psi(\vec{r}, t) \rightarrow \psi_1(\vec{r}, t) = e^{2iqf(\vec{r}, t)/\hbar c} \psi(\vec{r}, t)$.
- C $\psi(\vec{r}, t) \rightarrow \psi_1(\vec{r}, t) = \psi(\vec{r}, t)$.
- D $\psi(\vec{r}, t) \rightarrow \psi_1(\vec{r}, t) = e^{-iqf(\vec{r}, t)/\hbar c} \psi(\vec{r}, t)$.
- E $\psi(\vec{r}, t) \rightarrow \psi_1(\vec{r}, t) = e^{iqf(\vec{r}, t)/\hbar c} \psi(\vec{r}, t)$.

QUESTÃO 45

O comportamento de partículas carregadas na presença de campos magnéticos constantes dá origem ao efeito Zeeman. Considerando a existência de um campo magnético constante $\vec{B} = B_0 \hat{k}$ na direção do eixo z e usando o calibre

dado por $\vec{A} = -\frac{1}{2} \vec{r} \times \vec{B}$, assinale a opção que apresenta a

expressão correta para a equação de Schrödinger que descreve esse efeito.

- A $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi - \frac{eB_0}{2mc} L_z \psi + \frac{e^2 B^2}{8mc^2} z^2 \psi + e\phi \psi = E\psi$
- B $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + \frac{eB_0}{2mc} L_z \psi + e\phi \psi = E\psi$
- C $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + \frac{e^2 B^2}{8mc^2} (x^2 + y^2) \psi + e\phi \psi = E\psi$
- D $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + \frac{eB_0}{2mc} L_z \psi + \frac{e^2 B^2}{8mc^2} (x^2 + y^2) \psi + e\phi \psi = E\psi$
- E $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + \frac{eB_0}{2mc} L_z \psi - \frac{e^2 B^2}{8mc^2} (x^2 + y^2) \psi + e\phi \psi = E\psi$

RASCUNHO

QUESTÃO 46

Considere uma partícula de massa m em um poço potencial esférico e infinito, dado pela expressão $\begin{cases} 0 & 0 \leq r \leq a \\ \infty & a < r \end{cases}$. Assinale a opção que contém a expressão correta para a solução não normalizada geral da equação de Schrödinger para o problema e para a energia do estado $\ell = 0$, em que ℓ é o autovalor do momento angular total.

Ⓐ $\Psi(r, \theta, \phi) = \begin{cases} \text{sen}(kr)Y_\ell^m(\theta, \phi)/r & 0 \leq r \leq a, \\ 0 & r > a \end{cases}$, com $k = (n+1/2)\pi/a$ e $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8ma^2} n^2$.

Ⓑ $\Psi(r, \theta, \phi) = \begin{cases} \text{sen}(kr)Y_\ell^m(\theta, \phi) & 0 \leq r \leq a, \\ 0 & r > a \end{cases}$, com $k = (n+1/2)\pi/a$ e $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8ma^2} n^2$.

Ⓒ $\Psi(r, \theta, \phi) = \begin{cases} \text{sen}(kr)Y_\ell^m(\theta, \phi)/r & 0 \leq r \leq a, \\ 0 & r > a \end{cases}$, com $k = n\pi/a$ e $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2$.

Ⓓ $\Psi(r, \theta, \phi) = \begin{cases} \text{cos}(kr)Y_\ell^m(\theta, \phi) & 0 \leq r \leq a, \\ 0 & r > a \end{cases}$, com $k = n\pi/a$ e $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2$.

Ⓔ $\Psi(r, \theta, \phi) = \begin{cases} \text{cos}(kr)Y_\ell^m(\theta, \phi)/r & 0 \leq r \leq a, \\ 0 & r > a \end{cases}$, com $k = (n+1/2)\pi/a$ e $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2$.

RASCUNHO

QUESTÃO 47

O método aproximativo WKB (Wentzel, Kramers e Brillouin) se baseia em uma expansão em potências de \hbar nas quais termos de ordem maior ou igual a 2 são desprezados. Com isto se substitui a equação de Schrödinger pelo seu limite clássico com $\hbar \rightarrow 0$. Para

um hamiltoniano dado por $-\frac{d^2}{dx^2} + x^2 + x^4$, a aproximação WKB

fornece uma amplitude $\psi(x)$ para o estado fundamental nas situações em que $x \rightarrow \infty$. Em relação a esse problema, assinale a opção em que $\psi(x)$ está escrita corretamente nessa aproximação.

- A $\psi(x) = \frac{1}{x} e^{\pm x^2/2}$
- B $\psi(x) = e^{\pm x^3/3}$
- C $\psi(x) = x e^{\pm x^3/3}$
- D $\psi(x) = \frac{1}{x} e^{\pm x^3/3}$
- E $\psi(x) = x e^{\pm x^2/3}$

QUESTÃO 48

Considere o hamiltoniano em forma matricial dado pela expressão

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \text{ Assinale a opção que apresenta os}$$

autovalores corretos desse hamiltoniano.

- A $1, \sqrt{2}, \sqrt{3}$.
- B $1, 1, 1$.
- C $0, \pm\sqrt{3}$.
- D $0, \pm\sqrt{2}$.
- E Os autovalores são todos nulos.

QUESTÃO 49

Problemas dependentes do tempo em mecânica quântica são, normalmente, difíceis de serem resolvidos de forma analítica fechada. Assim, em geral, procura-se por soluções aproximadas e métodos para analisar as características mais relevantes do sistema físico. Um desses métodos é a teoria de perturbações dependentes do tempo. Para um hamiltoniano $H(t) = H_0 + \lambda W(t)$, em que H_0 é o hamiltoniano não perturbado, λ é um parâmetro e $W(t)$ é a perturbação, a probabilidade de transição entre um estado inicial i e um final f do sistema físico é dada pela expressão

$$P_{if}(t) = \frac{\lambda^2}{\hbar^2} \left| \int_0^t e^{i\omega_{fi}t'} W_{fi}(t') dt' \right|^2,$$

onde $\omega_{fi} = \frac{E_f - E_i}{\hbar}$ e $W_{fi}(t) = \langle \phi_f | W(t) | \phi_i \rangle$, sendo $|\phi_i\rangle, |\phi_f\rangle$ os

estados inicial e final, respectivamente. Considere o caso de um oscilador harmônico unidimensional com frequência angular ω_0 e carga elétrica q que está em seu estado fundamental no instante $t=0$ e é submetido a um campo elétrico de magnitude $W(t) = -\lambda x$ durante um intervalo de tempo τ (a partir de $t=0$). Assinale a opção que apresenta a expressão correta para a probabilidade de transição entre o estado fundamental e o primeiro estado excitado do oscilador.

- A $P_{01} = \frac{\lambda^2}{2m\hbar\omega_0} \left[\frac{\sin(\omega_0\tau)}{\omega_0} \right]^2$
- B $P_{01} = \frac{\lambda^2}{2m\hbar\omega_0} \left[\frac{\sin(\omega_0\tau/2)}{\omega_0/2} \right]^2$
- C $P_{01} = \frac{\lambda^2}{2m\hbar\omega_0} \left[\frac{\cos(\omega_0\tau/2)}{\omega_0/2} \right]^2$
- D $P_{01} = \frac{\lambda^2 \sin(\omega_0\tau/2)}{2m\hbar\omega_0}$
- E $P_{01} = \frac{\lambda^2 \tanh(\omega_0\tau/2)}{2m\hbar\omega_0}$

QUESTÃO 50

O operador paridade π é definido por $\pi |r\rangle = |-r\rangle$. Acerca desse operador, assinale a opção **incorreta**.

- A Definindo os operadores $p_+ = \frac{1+\pi}{2}$, $p_- = \frac{1-\pi}{2}$ e definindo, para um ket arbitrário $|\psi\rangle$, que $|\psi_+\rangle = p_+ |\psi\rangle$ e $|\psi_-\rangle = p_- |\psi\rangle$, então $|\psi_+\rangle$ e $|\psi_-\rangle$ não são autovetores de p .
- B Se $|\phi\rangle$ é autoestado de π com autovalor p , então $p = \pm 1$.
- C O operador π^2 é o operador identidade.
- D π é um operador hermitiano.
- E Se $|\psi\rangle$ é um ket arbitrário com autofunção na representação de coordenadas dada por $\psi(\vec{r})$, então deve-se ter $\pi |\psi\rangle \rightarrow \psi(-\vec{r})$.

PROVA DISCURSIVA

- Nesta prova — que vale **dez** pontos, sendo **cinco** pontos para cada questão —, faça o que se pede, usando os espaços indicados no presente caderno para rascunho. Em seguida, transcreva os textos para o **CADERNO DE TEXTOS DEFINITIVOS DA PROVA DISCURSIVA**, nos locais apropriados, pois **não serão avaliados fragmentos de texto escritos em locais indevidos**.
- Em cada questão, qualquer fragmento de texto além da extensão máxima de **trinta** linhas será desconsiderado. Será também desconsiderado o texto que não for escrito na **folha de texto definitivo** correspondente.
- No caderno de **textos definitivos**, identifique-se apenas no cabeçalho da primeira página, pois **não será avaliado** texto que tenha qualquer assinatura ou marca identificadora fora do local apropriado. Caso as respostas dadas às questões exijam identificação, utilize apenas o nome **PESQUISADOR**. Ao texto que contenha outra forma de identificação será atribuída nota zero, correspondente à identificação do candidato em local indevido.

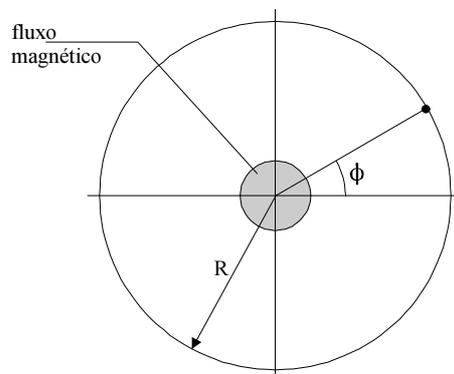
Para cada uma das **duas** questões apresentadas a seguir, redija a sua resposta, observando estritamente o comando da questão.

QUESTÃO 1

Considere que um elétron seja posto em movimento sobre um anel de raio R e espessura desprezível, como mostrado na figura, e que no centro do anel haja um fluxo magnético constante Φ na direção z perpendicular ao plano do anel. Em face dessas considerações, faça o que se pede a seguir.

- ▶ Encontre o potencial vetor \vec{A} no anel em termos do fluxo Φ no calibre em que \vec{A} é independente do ângulo azimutal ϕ .
- ▶ Escreva a equação de Schrödinger para esse elétron.
- ▶ Escreva as condições de contorno gerais para as funções de onda do elétron.
- ▶ Usando funções da forma $\exp(ik\phi)$, encontre os autoestados e as autoenergias do elétron.

Note que o fluxo magnético está no interior do anel e o campo magnético na borda do anel onde o elétron se encontra é *nulo*. Mesmo assim, as autoenergias dependem deste fluxo, um fenômeno conhecido como o efeito Aharonov-Bohm.



1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	

QUESTÃO 2

Uma partícula de massa m e carga q está numa região de campo magnético constante \vec{B} . Assumindo que \vec{B} está na direção z e usando-se o chamado calibre de Landau, para o qual $\vec{A} = (-By, 0, 0)$, onde \vec{A} é o potencial vetor associado, faça o que se pede a seguir:

- ▶ construa o hamiltoniano da partícula;
- ▶ mostre que esse hamiltoniano comuta com \hat{p}_x e \hat{p}_y (os momenta lineares nas direções x e y);
- ▶ trabalhe então na base dos autoestados de \hat{p}_x e \hat{p}_z e use uma separação de variáveis para mostrar que, para a componente y , a equação de Schrödinger se reduz àquela de um oscilador harmônico;
- ▶ ache os autoestados e as autoenergias do problema.

RASCUNHO – QUESTÃO 2

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	