INÍCIO

[A] A TEORIA ESPECIAL DA RELATIVIDADE

[1] Que Einstein se intrigava porque as leis de Newton eram independentes do movimento, mas as de Maxwell não.
As leis de Newton sugerem que não existem coisas tais como o movimento absoluto, apenas importando o movimento relativo. Mas as equações de Maxwell pareciam sugerir que o movimento é absoluto.

[2] Que as leis de Newton consideram apenas o movimento relativo, enquanto as equações de Maxwell sugeriam o movimento absoluto.
As leis de Newton sugerem que não existem coisas tais como o movimento absoluto. Mas as (...).

[3] Que Einstein descobriu uma forma de interpretar as leis de Maxwell ao custo de uma revolução.
O custo para obter este visão unificada das leis da natureza é uma revolução total na maneira de entendermos o espaço e o tempo.

[4] Que toda medição de espaço e tempo depende do movimento relativo.
(...) as próprias medições de espaço e tempo são também afetadas pelo movimento. Todas as medições de espaço e de tempo dependendo movimento relativo.

[5] Que Einstein mostrou que a interrelação entre massa e energia é consequência da interrelação entre tempo e espaço.
Einstein mostrou que uma consequência da inter-relação entre espaço e o tempo é a existência de uma inter-relação entre massa e energia, dada (...)

[6] Que a relatividade é remota ao nosso cotidiano e por isso é suficiente que nos tornemos informados.
É suficiente que nos tornemos informados dessas idéias, de modo que seja paciente consigo mesmo se não conseguir compreendê-las direto.

Sequência principal de leitura

[B] O MOVIMENTO É RELATIVO

[1] Que devemos sempre especificar o referencial se estamos falando de movimento.
(...) devemos sempre especificar o ponto de vista a partir do qual o movimento está sendo observado e medido. Por exemplo, uma pessoa que caminha (...) Chamamos de sistema de referência o local (...)

[2] Que um objeto pode ter diferentes velocidade em relação a diferentes sistema de referência.
Um determinado objeto pode ter diferentes valores de velocidade com relação a diferentes sistemas de referência.

Sequência principal de leitura

[C] O EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY

[1] Que o experimento de Michelson-Morley foi desenvolvido para responder se existe algum sistema de referência em repouso.
(...) A. A. Michelson e E. W. Morley tentaram responder estas questões realizando um experimento projetado para medir o movimento da Terra através do espaço.

[2] Que a luz era considerada uma onda, portanto foi considerada a existência do éter.
Como a luz se deslocava como uma onda, foi então considerado que algo tinha que vibrar no espaço - um "algo" misterioso (...)

[3] Que os físicos usavam um aparelho muito sensível para observar: o interferômetro. As
Para realizar suas observações, esses físicos usaram um aparelho muito sensível (...)

[4] Que o interferômetro funciona de um determinado modo.
O interferômetro era posicionado de modo que um dos caminhos fosse paralelo ao movimento orbital da Terra (...)

[5] Que o experimento de Michelson e Morley indicava que velocidade da luz não dependia da velocidade do receptor ou do emissor.
Mas não se observou qualquer alteração. Nenhuma. Algo estava errado com a idéia (...)

[6] Que houve tentativas para explicar os resultados de Michelson e Morley antes de Einstein.
Este fator (de Lorentz) é aplicava a discrepância, mas nem FitzGerald nem Lorentz dispunham de qualquer teoria adequada que explicasse por que isso acontecia.

[7] Que Einstein mostrou que era o próprio espaço que encurtava no fator de Lorentz. As
(...) mostrou que o fator correspondia ao encurtamento do próprio espaço (...)

[8] Que Einstein propôs que a luz tem a mesma velocidade de propagação no espaço livre. As
(...) Einstein propôs a idéia de que a rapidez de propagação da luz no espaço livre é a mesma para todos os sistemas de referência.

[9] Que Einstein desenvolveu uma relação profunda entre espaço e tempo.
Einstein viu que o espaço e o tempo estavam ligados, e com um simples postulado desenvolveu um relação profunda entre os dois.

Sequência principal de leitura

[D] OS POSTULADOS DA TEORIA ESPECIAL DA RELATIVIDADE

[1] Que o éter estacionário não é necessário. Einstein não viu qualquer necessidade do éter.
Einstein não viu qualquer necessidade do éter. Junto com o éter estacionário estava a noção de um sistema de referência absoluto.Todo o movimento é relativo (...)

[2] Que todo movimento é relativo a qualquer sistema de referência arbitrário.
(...) se no espaço um foguete A passa por um foguete B (...) cada qual será incapaz de determinar quem está se movendo (...)

[3] Que o primeiro postulado da Relatividade Especial é importante e pode ser verificado em várias situações.
Num avião a jato voando a 700 quilômetros por hora (...) o café derrama na xícara da mesma maneira como faz quando o avião está parado.

[4] Que o segundo postulado da Relatividade Especial foi uma conclusão de Einstein sobre a velocidade da luz.
Ele chegou finalmente à conclusão de que, não importando quão rápido os observadores possam se mover (...) cada um deles medirá a rapidez da luz igual a 300.000 quilômetros por segundo.

[E] SIMULTANEIDADE

[1] Que os eventos simultâneos deixam de ser simultâneos quando observados por outro referencial.
Uma vez que os valores das velocidades da luz em ambos os sentidos são os mesmos, este observador externo vê o evento da luz chegando à traseira acontecer antes do evento em que a luz chega à frente (...)

[2] Que a não simultaneidade é consequência da constância da velocidade da luz para todos os observadores.
Essa não-simultaneidade de eventos num sistema (...) uma consequência de que a luz sempre se propaga com a mesma rapidez.

Sequência principal de leitura

[F] O ESPAÇO-TEMPO

[1] Que no espaço tridimensional, utilizamos três eixos de coordenadas para localizar um ponto.
Se estamos no vértice de uma sala retangular e desejamos especificar a posição de um ponto qualquer da sala, podemos fazê-lo por meio de três números. O primeiro seria (...)

[2] Que o espaço tridimensional não é suficiente para descrever um objeto.
Mas as três dimensões não dão uma descrição completa. Existe uma quarta dimensão - o tempo.

[3] Que conforme a velocidade, intervalos de tempo medidos por observadores em diferentes pontos do espaço-tempo são diferentes.
Para valores comuns de velocidade, as diferenças entre suas medidas serão imperceptíveis, mas para valores de velocidade próximos ao da luz (...) as diferenças tornam-se apreciáveis.

[4] Que o segundo postulado de Einstein vem do fato de que qualquer observador mede a luz com a mesma velocidade.
As medidas diferem não ao acaso, mas de maneira tal que cada observador sempre medirá a mesma razão entre o espaço e o tempo para a luz (...)

Convida para atividade de reflexão

Retorna à sequência principal

Convida à certificação das respostas e retorna à sequência principal

Sequência principal de leitura

[Fa] OBSERVANDO UM RELÓGIO A PARTIR DE UM BONDE

Procura focalizar uma situação onde seria perceptível observar a discordância entre relógios que se distanciam e depois se aproximam.
Suponha que você fosse Einstein na virada do século, dirigindo um bonde que se move afastando-se de um grande relógio (...)
O relógio de pulso que você carregava consigo o tempo todo e o relógio da praça do vilarejo estarão em discordância. Isso é dilatação do tempo.

Abre possibilidade de aprofundamento (nota de rodapé)

[Fb] (Nota de rodapé)
Apresenta a construção matemática da dilatação temporal utilizando o relógiode luz.
O relógio de luz é mostrado abaixo em três posições sucessivas. (...)
O símbolo tq representa o tempo decorrido para o flash se mover (...)

[G] DILATAÇÃO TEMPORAL

[1] Que o relógio de luz funciona de um determinado modo.
Imagine (...) um flash luminoso ricochetiando para cá e para lá (...), como uma bola que ricochetea repetidamente no teto e no piso.

[2] Que a dilatação se dá através da aplicação do segundo postulado usando um relógio de luz que se desloca com velocidade constante.
Uma vez que a rapidez de propagação da luz é a mesma (...), o flash deve viajar entre os espelhos por um tempo correspondentemente mais longo em nosso sistema (...)

[3] Que a dilatação temporal tem a ver com a natureza do tempo e não com o mecanismo do relógio que usamos para medir.
A dilatação temporal não tem nada a ver com o mecanismo do relógio, mas com a própria natureza do tempo.

[4] Que o fenômeno da dilatação temporal possui representação matemática e pode ser articulado.
Chama-se o inverso dessa quantidade, ¡ (gama) de fator de Lorentz. Ou seja, (...)
Note que como a rapidez v é sempre menor do que c, a razeo v/c é sempre menor que 1 (...) (...); a 0,5c, o relógio em movimento apresenta um ritmo igual a (1/1,15 de nosso (...)

[5] Que a observação da dilatação temporal é recíproca entre dois observadores em referencias diferentes.
Se uma pessoa (...) conferisse um relogio (...) em nosso sistema de referência, descobriria que o nosso relógio mantém um ritmo de funcionamento tão lento (...) quanto o que nós registramos para o relógio dele.

[6] Que a dilatação temporal é comprovada experimentalmente.
A dilatação temporal foi confirmada em laboratório múmeras vezes por meio de aceleradores de partículas. (...)

[7] Que tudo parece muito estranho, mas que essa estranheza é preconceituosa.
Se gastássemos nossa juventude viajando velozmente (...), provavelmente estaríamos completamente acostumados com os resultados da relatividade.

Convida para atividade de reflexão e retorna à sequência principal

Sequência principal de leitura

[Ea] VERIFIQUE SUAS RESPOSTAS

Apresenta as respostas do problema anterior
Não é! (...) Podemos ser simplesmente fazemos correções nos tempos que os sinais (som e luz) levam para nos alcançar.
Questões: 0 Caráter: comparativo

Relação direta de pergunta-resposta

[Da] TESTE A SI MESMO

São duas questões que procuram fazer o leitor refletir sobre duas situações com relação à simultaneidade relativística.
1. A não-simultaneidade ao escutar um trovão depois de ver o correspondente relâmpago é análoga à não-simultaneidade relativística?
Caráter: reflexivo, conceitual

Sequência principal de leitura

[Fc] TESTE A SI MESMO

Constituído por 3 questões que articulam os conceitos apresentados.
1. Se voce estivesse se movendo numa espaçonave (...), você notaria alguma diferença em sua própria pulsação? E na pulsação das pessoas que ficaram na Terra?
3. A dilatação temporal significa que o tempo realmente passa mais lentamente (...), ou que o tempo apenas parece passar mais lentamente?

Convida para atividade de reflexão

Retorna à sequência principal

Relação direta de pergunta-resposta

[Ga] VERIFIQUE SUAS RESPOSTAS

Respostas dos exercícios anteriores.
1. É nula a rapidez relativa entre você e seu pulso porque os dois partilham do mesmo sistema de referência. Portanto você não nota qualquer efeito relativístico em sua pulsação. Entretanto, (...). Os efeitos da relatividade são sempre atribuídos ao outro.
3. A diminuição no ritmo de passagem do tempo de sistemas em movimento não é meramente ilusão (...)

Convida à certificação das respostas e depois retorna à sequência principal

[Gb] (Nota de rodapé)
Apresenta a condição para que a situação apresentada em [G3] possa exitir.
Suponha que um emissor na Terra emita flashes a intervalos de 3 min (...) Se a nave estivesse viajando mais rápido, de modo que a frequência de recepção na situação de afastamento fosse 1/2 ou 1/4 da de emissão, então a frequência de recepção na situação de aproximação seria três ou quatro vezes maior. Essa relação (...) não é válida para ondas que requerem um meio para se propagarem.

Apresenta o motivo da validade da situação proposta para transmitir a mensagem. (nota de rodapé)

Convida para atividade matemática e depois retorna à sequência principal

[Gc] TESTE A SI MESMO

Consiste em três questões matemáticas:
Se a espaçonave emite um sinal com "sinal de partida", seguido de um flash a cada 6 minutos durante uma hora, quantos flashes serão emitidos?

Convida à certificação das respostas e depois retorna à sequência principal

Relação direta de pergunta-resposta

[Gd] VERIFIQUE SUA RESPOSTA

Resposta apresentada logo em seguida.
A nave emitirá um total de dez flashes durante 1 hora, pois
(60 minutos)/ (6 minutos)=10 (11 se o sinal de partida for contabilizado)

Convida à certificação das respostas e depois retorna à sequência principal

[Ge] TESTE A SI MESMO

Consiste em uma questão conceitual:
Como o movimento é relativo, não podemos igualmente dizer que a espaçonave se encontra em repouso e que a Terra é que se move, caso em que o gêmeo da espaçonave envelhece mais?

Relação direta de pergunta-resposta

[Gf] VERIFIQUE SUA RESPOSTA

Resposta apresentada logo em seguida.
Não, a menos que a Terra faça uma curva e retorne (...)

Convida à certificação das respostas e depois retorna à sequência principal

[H] A VIAGEM DO GÊMEO

[1] Que uma viagem de ida e volta de um irmão gêmeo a alta velocidade provoca diferença na taxa de envelhecimento entre os dois.
Quando o gêmeo viajante retorna, ele está mais jovem do que o gêmeo que fico na Terra. (...)

[2] Que a diferença de evelhecimento entre os gêmeos depende da velocidade do viajante.
A uma rapidez correspondente a 99,5% da rapidez da luz, 10 anos teriio se passado na Terra para um ano decorrido na espaçonave.

[3] Que não há incompatibilidade entre a relatividade do movimento e o fato de que um dos gêmeos ao final está mais velho do qué o outro.
Nós mostraremos que, a partir dos sistemas de referência usados por ambos os gêmeos, é o gêmeo que permaneceu na Terra que mais envelhece. (...)

Sequência principal de leitura

[I] ADIÇÃO DE VELOCIDADES

[1] Que o senso comum está quase correto em afirmar que a soma de velocidades clássica pois na verdade trata-se de uma aproximação da fórmula relativística.
Estritamente falando, a fórmula acima é uma aproximação da fórmula relativística para combinar velocidades.

[2] Que a fórmula da soma de velocidades relativística e mostra que não podemos alcançar a luz.
Suponha que a espaçonave (...) dispara um pulso (...) no mesmo sentido em que está viajando. (...) [aplicação da fórmula]

Sequência principal de leitura

[J] VIAGENS ESPACIAIS

[1] Que viagens espaciais para lugares distantes são possíveis e não demoradas para o viajante quanto mais próximo da velocidade de luz estiver.
(...) astronautas viajando a 99% de c poderiam ir até a estrela Procyon (...) e retornar em 21 anos terrestres. Por causa da dilatação temporal, (...) somente 3 anos teriam transcorrido para os astronautas.

[2] Que a impossibilidade de viagens deste tipo está na tecnologia e não na impossibilidade física.
A tecnologia atual não permite tais jornadas. O fornecimento de energia propulsora suficiente e a blindagem contra radiação são problemas proibitivos.

[3] Que podemos envergar o passado.
A luz das estrelas que chega até nossos olhos deixaram aquelas estrelas há dúzias, centenas ou mesmo a milhões de anos atrás.

[4] Que não existe um sistema de referência onde que possua um tempo padrão.
(...) observadores situados em qualquer lugar do universo (...) Eles podem estar vendo nossas vidas duraram (...) mais que suas próprias vidas, da mesma forma (...) veríamos a vida deles duraram (...) mais do que as nossas.

[5] Que não faz sentido pensar num espaço fora do universo ou o tempo de duração do universo.
O tempo existe "dentro" do universo, e não o universo existe "dentro" do tempo (...)

Abre discussão complementar

Sequência principal de leitura

[Ja] SALTANDO DE SÉCULO

Trata-se de uma situação que apresenta a possibilidade de saltarmos para diversas épocas futuras.
(...) alguém poderia partir da Terra numa nave em alta velocidade no ano 2100, viajar 5 anos e retornar no ano 2500.

[K] CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO

[1] Que assim como o tempo, o espaço sofre alterações quando objetos viajam pelo espaço tempo.
Essa contração do comprimento foi proposta (...) pelo físico George F. FitzGerald e expressa matematicamente por outro físico (...) Einstein percebeu que o que sobre a contração é o próprio espaço.

[2] Que a contração do espaço ocorre na direção do movimento conforme a equação da contração de Lorentz.
Quando substituímos diversos valores progressivamente maiores de v na equação de Lorentz, começamos a ver que o valor calculado para L vai se tornando cada vez menor.

[3] Que a contração espacial e a dilatação temporal são faces de um mesmo fenômeno observado por referenciais distintos.
(...) Um conjunto de observadores afirma que é por causa da contração do comprimento, outros afirmam que é por causa da dilatação temporal. Ambos estão corretos .

Convida à certificação das respostas e retorna à sequência principal

Convite à atividade matemática e conceitual.

[Ka] (nota de rodapé)
O autor justifica a simples apresentação das equações relativísticas.
Note que, de fato, não explicamos como a equação da contração do comprimento (ou outras equações) é obtida (...) apresentamos as equações como "pues de pensamento"

Apresenta justificação complementar

[La] VERIFIQUE SUA RESPOSTA

Apresenta a resposta do exercício anterior.
O viajante espacial terá que se deslocar a 0,87c numa direção paralela ao lado mais comprido do painel.

Relação direta de pergunta-resposta

[Kb] TESTE A SI MESMO

Exercício da equação de contração de Lorentz.
Um painel (...) retangular tem dimensões espaciais de 10m x 20m. Quão rápido, e em que direção (...) deveria passar para o painel parecer quadrado?

Retorna à sequência principal

Sequência principal de leitura

[L] MOMENTUM RELATIVÍSTICO

[1] Que o momentum relativístico difere do momentum clássico.
Para Newton, um momentum infinito significaria ou uma massa infinita ou uma rapidez infinita. (...) Einstein mostrou que é necessária uma nova definição de momentum.

[2] Que há uma forma que o momentum relativístico varia dependendo do aumento da velocidade (eq. momentum relativístico).
Para velocidades maiores, , cresce fantasticamente e o mesmo acontece com o momentum relativístico. Quando a rapidez se aproxima de c, , tende ao valor infinito!

[3] Que pode-se comprovar a influência do aumento do momentum relativístico de partículas em aceleradores de particulas.
Seja qual for o tipo de acelerador, os físicos (...) comprovam todos os dias a validade da definição relativística do momentum e o limite de velocidade(...)

[4] Que o limite de velocidade dos objetos é imposta pela forma como o momentum cresce.
(...) quando a rapidez de um objeto se aproxima da rapidez de propagação da luz, seu momentum se aproxima do valor infinito - o que significa que não existe maneira pela qual a velocidade da luz possa ser alcançada.

Sequência principal de leitura

FIM

[S] PROBLEMAS

São 10 questões baseadas em situações que procuram articular matematicamente os conceitos.
2. A nave interestelar Enterprise, passando pela Terra a 80% da rapidez da luz, envia uma pequena nave-robô na frente, que se move com a metade da rapidez da luz em relação à Enterprise. Qual é a rapidez da nave-robô em relação à Terra?

Convite à articulação do conteúdo a partir da resolução de exercícios

[R] EXERCÍCIOS

São 40 questões baseadas em situações que procuram fazer articular conceitualmente os assuntos apresentados.
18. É possível a um filho ou filha ser biologicamente mais velho do que seus pais? Explique.

Convite à articulação do conteúdo a partir da resolução de exercícios

[Q] QUESTÕES DE REVISÃO

Propõe 40 questões pontuais que procuram fazer refletir sobre os assuntos apresentados agrupadas por capítulos.
Momentum Relativístico
33. Qual seria o momentum de um objeto impulsionado à velocidade da luz?

Convite à revisão do conteúdo a partir de questões.

[P] LEITURA SUGERIDA

Apresenta uma lista com cinco livros sugeridos para leitura.
Epstein, Lewis C. Relativity Visualized. San Francisco: Insight Press, 1983. (...)

Apresenta uma atividade extra

[O] SUMÁRIO DE TERMOS

Apresenta um glossário com 6 termos da relatividade
Sistema de referência Um ponto de vista (normalmente um conjunto de eixos de coordenadas) em relação ao qual a posição e o movimento podem ser descritos.

Apresenta um instrumento de suporte ao leitor.

[N] O PRINCÍPIO DA CORRESPONDÊNCIA

[1] O princípio propriamente dito.
Se as equações da relatividade especial são válidas, elas devem corresponder àquelas da mecânica clássica quando os valores de velocidade (...) são muito menores do que a rapidez de propagação da luz.

[2] Como as equações de tempo, espaço e momentum relativísticas se reduzem às newtonianas.
Para os valores de velocidade do cotidiano, o momentum, o comprimento e o tempo de objetos em movimento são basicamente inalterados.

convite à complementação do assunto

[Nb] BIBLIOGRAFIA : ALBERT EINSTEIN (1879 - 1955)

Apresenta um Einstein incompreendido, mas que ao final se tornou genial e bondoso.
Ele se rebelava, entretanto, com a educação vigente (...) tendo sido expulso (...) Sem qualquer ligações acadêmicas, e com essencialmente nenhum contato com outros físicos, ele estabeleceu os principais linhas que a física teórica veio a desenvolver no século vinte
Ele era um pacifista, mas a idéia de que Hitler estivesse desenvolvendo uma bomba impulsionou sua ação.

Sequência principal de leitura

[M] MASSA, ENERGIA E E=MC2

[1] Que assim como espaço e tempo, existe uma ligação entre massa e energia.
Einstein conclui que é necessário energia para haver massa, e que acorre liberação de energia se desaparecer massa.

[2] Que a equação revela uma grande quantidade de energia relacionada a uma pequena quantidade de massa.
Devido ao grande valor de c, uma pequena massa corresponde a uma enorme quantidade de energia.

[3] Que a validade da equação E=mc2 não se restringe às reações nucleares.
Uma xícara de chá quente tem mais massa do que a mesma xícara quando o chá está frio. Um relógio de dar corda tem mais massa quando sua mola em espiral está enrolada (...)

[4] Que as variações de massa, mesmo as de transformações radioativas que envolve grande quantidade de energia, são muito muito pequenas.
Mesmo as variações de massa muito maiores envolvidas em transformações radioativas não foram medidas até depois que Einstein previsse a equivalência massa-energia.

[5] Que mais do que uma relação, massa e energia são a mesma coisa.
Ela (a equação) exprime mais do que isso, a saber, que a massa e energia são a mesma coisa. Massa é energia solidificada.

Convida à certificação das respostas e retorna à sequência principal

[Na] VERIFIQUE SUA RESPOSTA

Resposta à questão dada.
Não, não e não! Não se pode fazer a matéria se mover com a velocidade de luz, quanto mais como quadrado dela (...) massa e energia são "os dois lados de uma mesma moeda".

Relação direta de pergunta-resposta

Convite à atividade reflexiva e depois retorna à sequência principal

[Ma] TESTE A SI MESMO

Trata-se de uma pergunta que confunde o leitor para verificar a consistência do seu entendimento sobre o assunto.
Podemos encarar a equação (...) dizendo que matéria se transforma em pura energia quando está viajando com velocidade da luz ao quadrado?