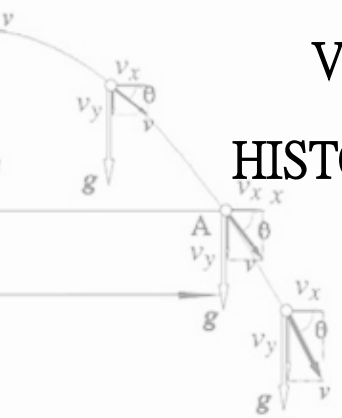


O ENSINO DE MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO E QUEDA LIVRE, COM ENFOQUE HISTÓRICO, SEGUNDO O MODELO ROTAÇÃO POR ESTAÇÕES EM NÍVEL MÉDIO



$$v_{0x} + a \cdot t$$

$$x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

$$v^2 = v_{0x}^2 + 2a_x(x - x_0)$$

$$x_0 = \left(\frac{v_{0x} + v_x}{2}\right) \cdot t$$

$$V_f = V_i + at$$

$$d = \frac{1}{2}(V_f + V_i)t$$

$$d = V_i t + \frac{1}{2}at^2$$

$$V_f^2 = V_i^2 + 2ad$$

Glendha Ribeiro Fonseca

Dr. Pierre Schwartz Augé



PRODUTO EDUCACIONAL

MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO E QUEDA LIVRE

Caro Professor (a),

Este material foi elaborado com intuito de propiciar caráter significativo à aprendizagem de conceitos dos conteúdos relativos ao Movimento Uniformemente Variado e Queda Livre para alunos do Ensino Médio Regular. Para isso, lançar-se-á mão da contribuição dos conceitos relativos à História da Física, aliados à utilização de TDIC's aplicados ao modelo de Ensino Híbrido de Rotação por Estações, ambos à luz dos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel.

O material instrucional proposto estrutura-se em sete etapas, sendo a primeira composta por um questionário com o objetivo de se verificar quais conhecimentos prévios/alternativos os alunos já possuem sobre Movimento Retilíneo Uniforme, Movimento Uniformemente Variado e Queda Livre. As seis etapas subsequentes consistem em aulas introdutórias dialogadas sobre os temas que compõem os conceitos físicos desse material e grupos de estações que seguem o modelo de ensino híbrido Rotação por Estações.

Em cada grupo de estações, cada um com quatro atividades, têm-se propostas didáticas que objetivam explorar estratégias e ferramentas como auxílio no processo de aprendizagem. Tais atividades consistem em atividades experimentais com roteiros elaborados, vídeos, simulações computacionais e jogos didáticos, além de questões de cunho quantitativo e qualitativo.

Importa assinalar que em cada etapa da presente sequência busca-se iniciar utilizando-se um texto histórico como material introdutório com objetivo de instigar a curiosidade por parte dos alunos, além de levá-los a refletir sobre o tema que será abordado, pondo em tela os personagens principais na construção e desenvolvimento dos conceitos físicos em voga.

Tanto a linguagem dos textos históricos como a do material como um todo foram elaboradas de forma clara e simples, sem deixar de lado o caráter relevante do rigor conceitual inerente, mas apresentando a construção dos conceitos de Movimento Uniformemente Variado e Queda Livre de maneira lógica e consciente, sem apresentá-los de forma fragmentada como se fossem assuntos distintos.

É consciente do poder transformador da educação que lhes apresento este material.
Quaisquer dúvidas ou sugestões, por favor entrem em contato: ribeiroglendha@gmail.com.

SUMÁRIO

PRIMEIRA ETAPA.....	4
Questionário introdutório – concepções alternativas	
SEGUNDA ETAPA.....	6
Aula dialogada/Vídeos/Questões - Movimento Retilíneo Uniforme	
TERCEIRA ETAPA.....	9
Texto histórico/Estações – Queda dos corpos quanto à massa	
QUARTA ETAPA	17
Aula dialogada/Vídeos/Questões - Movimento Uniformemente Variado	
QUINTA ETAPA	20
Estações/Questões - Movimento Uniformemente Variado	
SEXTA ETAPA.....	28
Estações/Questões – Movimento Uniformemente Variado	
SÉTIMA ETAPA.....	38
Texto/Questões - Equação de Torricelli	
APÊNDICE I – Rotação por Estações	41

PRIMEIRA ETAPA

Questionário introdutório – concepções alternativas

Querido estudante, vamos iniciar a investigação sobre um tema da Física muito instigante e de grande importância histórica. Os autores envolvidos na trama foram pioneiros no estudo da queda dos corpos, na definição do movimento uniformemente variado e na construção do que chamamos método científico e ciência, como entendemos hoje.

Para iniciar, você responderá algumas perguntas. Não se preocupe em responder certo ou errado. Escreva bastante e não vale olhar no *smartphone*. Estou de olho, hein! Vamos nessa?

Questões

1- O que é Movimento Uniforme?

2- Defina Movimento Variado e Movimento Uniformemente Variado.

3- O que é Queda Livre?

4- Se eu largar duas bolas de ferro do quinto andar de um prédio, uma de 1kg e outra de 2kg, qual chega primeiro ao chão?

5- Se eu largar duas bolas de ferro do quinto andar de um prédio, uma de 1kg e outra de 100kg, qual chega primeiro ao chão?

6- E uma bolinha de gude e um elefante?

7- Com relação à velocidade, como os corpos caem?

8- O ar influencia na queda?

9- Existe vácuo?

10- Em sua opinião, o que faz com que os corpos caiam?

11- Você acredita que há diferença de corpos que caem na Terra para corpos que caem da Lua ou em outro astro celeste?

SEGUNDA ETAPA

Aula dialogada/Vídeos/Questões

Movimento Retilíneo Uniforme

Aula introdutória dialogada (parte 1)

Para começarmos, pessoal, vamos ter uma aula expositiva dialogada de caráter revisional sobre conceitos de velocidade média e instantânea, movimento uniforme, espaço em função do tempo.

Vamos assistir uns vídeos de revisão:

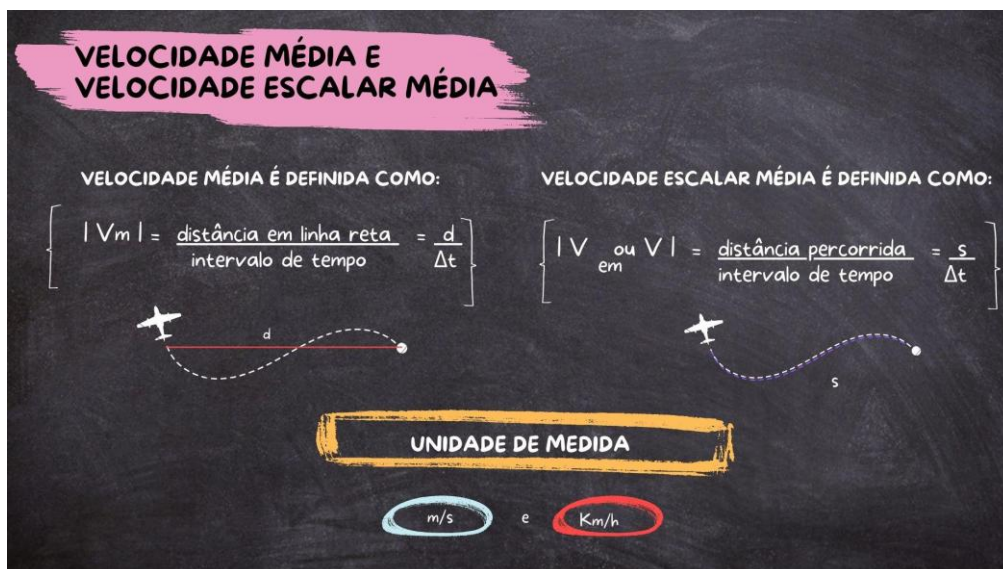
Velocidade média e velocidade escalar média e Movimento retilíneo uniforme:

Links: <https://www.youtube.com/watch?v=3oRfeMMsRmI>

<https://www.youtube.com/watch?v=aI9qYENJH5g>

A figura 1 compõe um resumo sobre o conteúdo de Velocidade Média e Velocidade Escalar Média.

Figura 1 – Resumo sobre Velocidade Média e Velocidade Escalar Média.



Fonte: Elaboração própria.

A seguir temos um breve resumo na Figura 2 sobre o conteúdo de Movimento Uniforme.

Figura 2 – Resumo sobre Movimento Uniforme.



Fonte: Elaboração própria.

Os *Slides* também podem ser acessados pelos *links* a seguir: *Slides* sobre velocidade média e *Slides* sobre Movimento Uniforme.

Velocidade Média:

https://www.canva.com/design/DAF2hm9BOxo/Acs92CgfEYpEbnfDyslAZw/edit?utm_content=DAF2hm9BOxo&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Movimento Uniforme:

https://www.canva.com/design/DAF2ly9JY5w/tIIQGz62fuEbVCsiFJc3hQ/edit?utm_content=DAF2ly9JY5w&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Questões

1- O que é Movimento Uniforme?

2- Dê exemplos de movimento uniforme?

3 - Para você o movimento de queda dos corpos é uniforme?

TERCEIRA ETAPA

Texto histórico/Estações

Figura 1 – Esquema das estações da terceira etapa de aplicação do produto educacional.



Fonte: Elaboração própria.

Queda dos corpos quanto à massa

Vamos iniciar nosso estudo sobre a queda dos corpos com um autor muito importante, Aristóteles (384-322 a.C.), e o que ele falava sobre a influência da massa na queda. Vejamos!

A busca pela compreensão de como a Terra e tudo que nela há “funcionavam” era algo que despertava a curiosidade de pensadores desde muito tempo. Temos os mitos, as posições religiosas e os pensadores mais próximos do que chamamos hoje de racionalidade. Aristóteles, por exemplo, contribuiu para a compreensão de uma importante questão: a da queda dos corpos, vejamos o que ele disse:

“Uma massa dada cai uma certa distância em um tempo dado; uma massa que seja maior tarda em cair desde a mesma altura menos tempo, estando os tempos em proporção inversa das massas. Assim, se uma massa dada é o dobro de outra, levará a metade do tempo ao cair” (*De caelo*; in: COHEN, 1988, p. 23).

Ou seja, para Aristóteles, corpos de maior massa caem mais rapidamente quando abandonados em queda, em comparação com os mais leves. Essa compreensão deriva da teoria criada por ele sobre o movimento dos corpos e sua composição. Para ele, toda a matéria era composta por quatro elementos fundamentais: terra, água, ar e fogo.

Nessa teoria, os corpos constituídos predominantemente por ar ou fogo, como os gases e o próprio fogo, sofriam o que Aristóteles chamava de movimento natural (de

trajetória vertical para cima). Esse movimento se daria para cima quando o corpo em movimento possuísse predominantemente ar ou fogo. Por outro lado, quando um corpo possuísse predominantemente terra e água, como uma pedra ou a chuva, o movimento natural seria em direção ao centro da Terra, ou seja, para baixo.

Essa visão de Aristóteles teve um impacto significativo na compreensão do movimento e da natureza dos corpos, trazendo luz às dúvidas que permeavam a sociedade da época. Mas será que ele estava certo?

A tentativa de explicar o comportamento dos corpos e a própria natureza não se finaliza até os dias de hoje. Logo, a teoria de Aristóteles, assim como muitas compreensões acerca do comportamento dos corpos na superfície terrestre obteve seus avanços. Estudiosos como Galileu (1564-1642), dentre outros, fizeram novas propostas teóricas e realizaram atividades experimentais que previam um comportamento diferente ao designado por Aristóteles.

Vamos agora para nossa primeira sequência de estações. Teremos quatro estações e a turma deve ser dividida em grupos para percorrê-las.

Estação A - Texto

No séc.VI d.C., João Filópono, estudioso bizantino, defendendo que uma tese baseada na experiência é mais crível do que uma tese meramente teórica, ataca Aristóteles, como podemos ver no texto:

“Se deixar cair, da mesma altura, dois pesos, um dos quais muitas vezes mais pesado do que o outro, não observará que a razão dos tempos requeridos para o movimento depende da razão dos pesos, mas sim que a diferença dos tempos é muito pequena. E assim, se a diferença dos pesos não é considerável, isto é, se um é, digamos, duplo do outro, não haverá diferença, ou melhor, haverá uma diferença imperceptível nos tempos, ainda que a diferença de pesos não seja desprezível, pois um corpo pesa o dobro do outro” (in: COHEN, 1988, p. 23).

Vejamos agora o que fora descrito por Galileu sobre a queda dos corpos em relação à massa:

“Mas eu ... que realizei a experiência, posso assegurar que uma bala de canhão de 100 ou 200 libras de peso, ou mesmo mais, não atingirá o solo muito antes da bala de um mosquete, com o peso de meia onça, desde que ambas sejam

deixadas cair de uma altura de 200 braças...a maior adianta-se à pequena em cerca de duas polegadas, ou seja, quando a maior atinge o solo, a outra encontra-se a duas polegadas de altura” (in: COHEN, 1988, p. 25).

Outro estudioso, no séc. XVI, Simon Stevin, engenheiro, físico e matemático flamengo, descreve um experimento realizado. Eis sua descrição:

“A experiência contra Aristóteles é a seguinte: tomemos duas esferas de chumbo, uma das quais dez vezes maior e mais pesada do que a outra: deixemo-las cair simultaneamente de uma altura de trinta pés sobre uma mesa ou qualquer superfície na qual produzam um som perceptível. Resultará que a esfera mais leve não demorará no seu percurso dez vezes mais do que a mais pesada: ambas cairão juntas sobre a mesa, tão simultaneamente que os dois sons confundir-se-ão como se resultantes de uma mesma colisão” (in: COHEN, 1988, p. 24).

A análise de experimentos e testemunhos históricos nos levam à conclusão de que quando dois corpos de dimensões quase iguais são abandonados em queda, eles caem aproximadamente no mesmo intervalo de tempo. No entanto, o corpo de maior massa cai um pouco à frente devido à resistência do ar. Essa resistência afeta ambos os corpos, mas é proporcionalmente maior no corpo de menor massa. A força de resistência do ar é semelhante para ambos os corpos, uma vez que suas dimensões são comparáveis. No entanto, devido ao peso maior do corpo de maior massa, a força resultante é ligeiramente maior para esse corpo. Curiosamente, se não houvesse resistência do ar, todos os corpos cairiam no mesmo intervalo de tempo quando abandonados da mesma altura.

Questão

1- O que você achou dos relatos? Qual sua posição? Quem está com a razão?

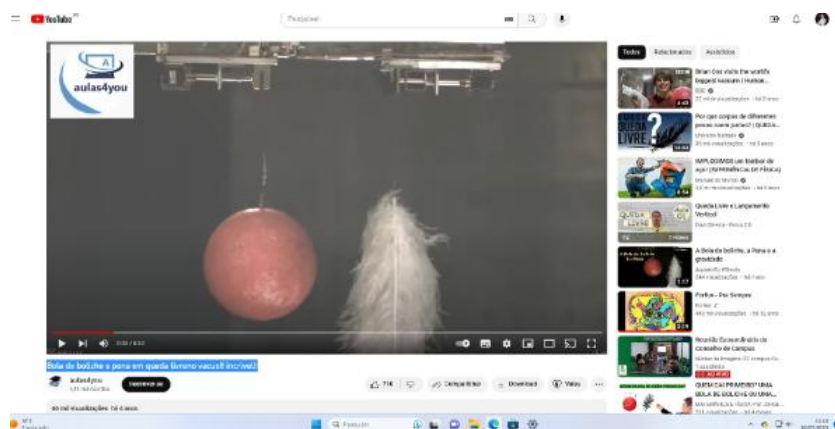
Estação B - Vídeo

Vídeo: Queda de uma bola de boliche e uma pena no vácuo.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=O6mO7yJ0YjU>

Neste vídeo observamos a queda de uma pena e uma bola de boliche no vácuo.

Figura 3 – Vídeo de uma experiência de queda livre no vácuo.



Questões

2- Gostou? Comente!

3- O que o vídeo e a característica adquirida pela pena e pela bola de boliche durante a queda nos revelam? É possível chegar a alguma conclusão prévia?

Estação C – Atividade Experimental

Atividade Experimental I

Abandonar, no ar, uma folha de papel sobre um caderno. Conjuntamente a uma folha do mesmo material só que amassada em formato esférico

Atividade Experimental II

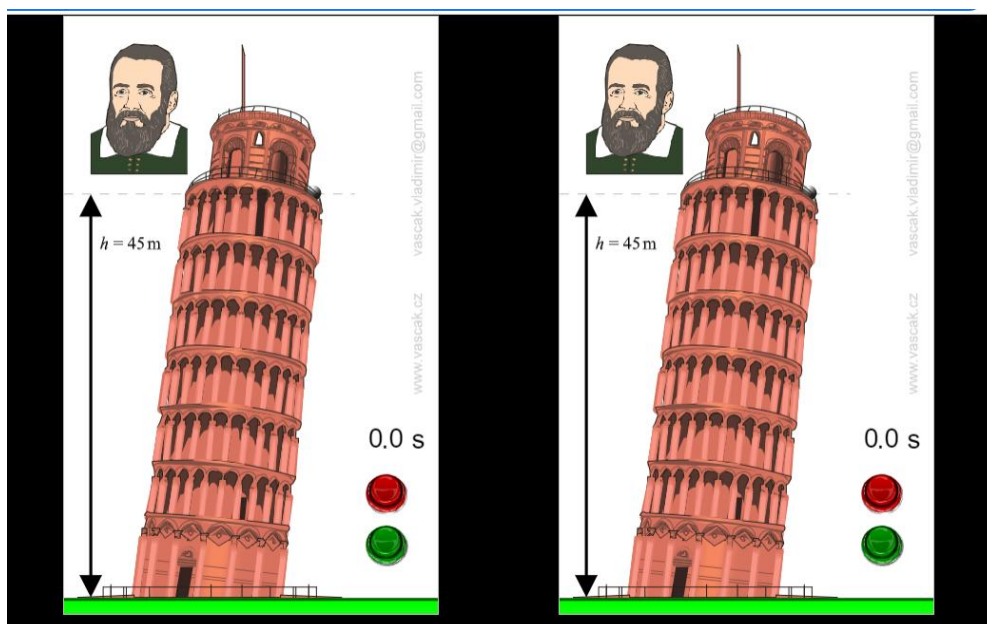
Simulador VASCAK

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=gp_volny_pad&l=pt

Nesta estação vamos explorar o comportamento de dois corpos de massas diferentes em uma simulação na Torre de Pisa, mas sem levar em consideração os efeitos de resistência do ar.

Procedimento: Apertar o botão verde na primeira tela à esquerda e observar o tempo de queda do corpo e posteriormente repetir o procedimento na tela mais à direita.

Figura 4 – Simulação Vascak sobre Queda Livre.



Fonte: Vascak.cz

Questões

- 3- O que, na sua opinião, influenciou o comportamento adquirido pelos corpos nas experiências I e II?

- 4 - Ambas atividades realizadas nas experiências I e II tiveram como meio a superfície terrestre?

Estação D – Narrativa Histórica

Galileu, um jovem estudante da Universidade de Pisa, teria recebido, aos 19 anos, a visita do pai, Vincenzo, que tendo sido noticiado de seu péssimo desempenho na medicina foi ao seu encontro pedir explicações.

Galileu esclarece que não estava interessado na medicina e que preferia muito mais matemática e física. Vincenzo, seu pai, voltou para Florença, onde morava, naquele mesmo dia, decepcionado pelo filho ter trocado a medicina, que ele julgava uma ciência nobre, pela matemática, para ele, uma ciência de sonhadores, deixando Galileu triste e sem dinheiro.

Mesmo em virtude da decepção de seu pai e dos problemas de sua declaração de afinidade pela matemática e física, Galileu não se deixou abalar e continuou suas observações guiado pela sua extrema curiosidade. Há um mito de que ele teria subido até a parte mais alta da Torre de Pisa e lançado dois corpos de diferentes massas de seu topo. Galileu teria realmente deixado dois corpos do alto da Torre de Pisa?

Questão

- 4- O que poderia acontecer caso realmente Galileu tivesse deixado os corpos de massas diferentes cair do alto da Torre de Pisa, você acredita que os corpos chegaram de que maneira no solo?

Há controvérsias pertinentes de que realmente essa história seja verdadeira, visto que Galileu nunca escreveu sobre esse experimento e que não há nada que indique que isso realmente aconteceu, pois o experimento em questão foi descrito por Galileu em um de seus livros em um tom de experimento mental, mas não com clara alusão à sua realização. Outro ponto é a condição da ação do vento e do próprio ar, haja vista que,

hipoteticamente, esse experimento só teria efeitos conclusivos caso realizado no vácuo.



Fonte: SciencePhotoLibrary

Mesmo em virtude da decepção de seu pai e dos problemas de sua declaração de afinidade pela matemática e física, Galileu não se deixou abalar e continuou suas observações guiado pela sua extrema curiosidade. Há um mito de que ele teria subido até a parte mais alta da Torre de Pisa e lançado dois corpos de diferentes massas de seu topo. Galileu teria realmente deixado dois corpos do alto da Torre de Pisa?

Há quem acredite que a fantasia de que Galileu teria subido até o ponto mais alto da Torre de Pisa e soltado corpos de massas diferentes tenham sido criada por ele mesmo, em seus contos de juventude. Existe também a ideia de que ele teria escalado até o topo mais alto e realizado essa demonstração sendo aclamado pelo público.

Questão

5- Qual sua opinião sobre a realização deste experimento? Descreva os motivos que te fazem acreditar ou não que ele foi realizado.

Sendo verdadeira ou não, a história de que Galileu teria ou não lançado dois corpos de massas diferentes do alto da Torre de Pisa inaugura a ciência da mecânica com a descrição da Lei da Queda dos Corpos e que seus feitos tiveram influência sobre Isaac Newton, outro grande físico, considerado pai da dinâmica, do estudo das causas do movimento.

Questão

6- Afinal, qual foi a conclusão de Galileu sobre a queda de corpos com massas diferentes?

QUARTA ETAPA

Aula dialogada/Vídeos/Questões

Movimento Uniformemente Variado

Vamos iniciar agora o estudo do movimento uniformemente variado. Esse movimento supõe a definição de uma grandeza chamada aceleração. Preparados?

Aceleração

Aula introdutória dialogada (parte 2)

Vamos entender agora o conceito de aceleração.

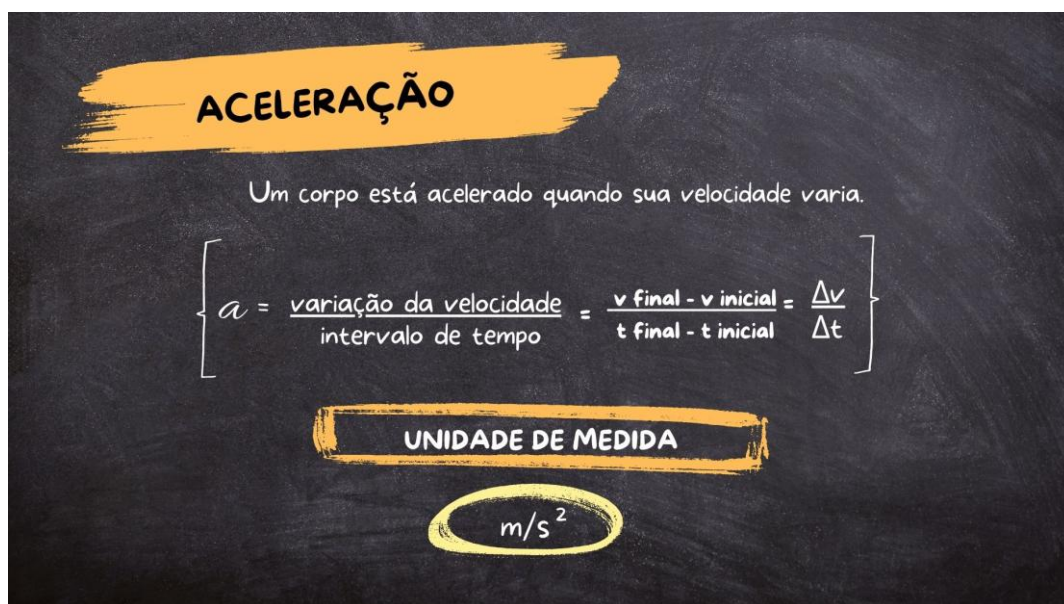
Vamos aos vídeos?

Links:

<https://www.youtube.com/watch?v=RKrTcna0VSc&list=PL9597F25F25E6846D&index=1>

<https://www.youtube.com/watch?v=e5jqwDQIeA8&list=PL9597F25F25E6846D&index=5>

Figura 5 – Resumo sobre aceleração.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 6 – Resumo sobre aceleração da gravidade.



Fonte: Elaboração própria.

Questões

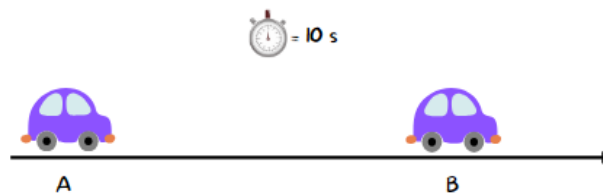
1- Afinal, o que é aceleração?

2- A velocidade pode variar de maneira uniforme ou não. Comente.

3- É possível calcular a aceleração da gravidade próximo ao solo da Terra através da variação da velocidade de um corpo em um determinado espaço de tempo? Comente.

4- É possível definir as unidades de medida da aceleração e da aceleração da gravidade através da fórmula (variação da velocidade em função da variação do tempo)? Comente.

5- Um carro de dimensões desprezíveis e com aceleração constante passa por um ponto A, como demonstra a figura, velocidade escalar de 5 m/s e, posteriormente, passa por um ponto B com velocidade escalar de 10 m/s. Determine a aceleração desse automóvel se, para se deslocar do ponto A ao ponto B, este levou 10 segundos.



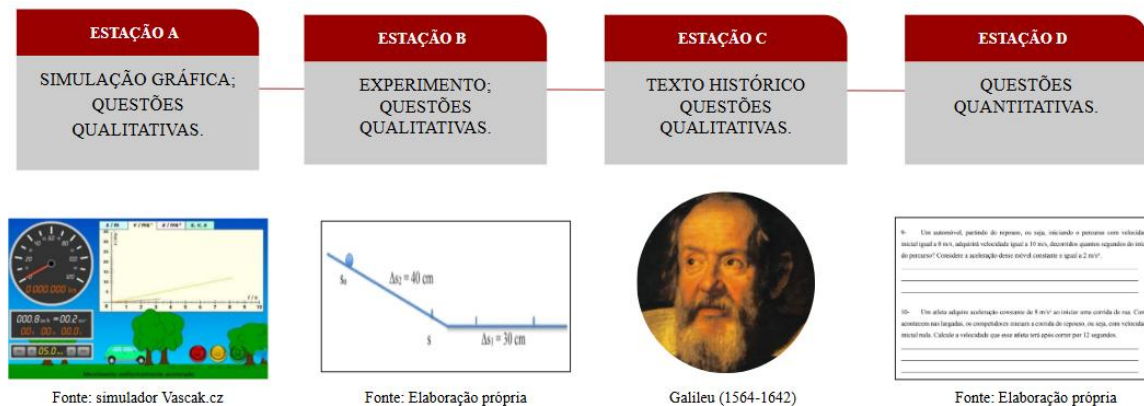
Fonte: Elaboração própria.

6- Um móvel parte do repouso e atinge a velocidade de 25 m/s após um tempo de 5 segundos. Calcule a aceleração média do automóvel, nesse intervalo de tempo.

QUINTA ETAPA

Estações/Questões

Figura 2 – Esquema das estações da quinta etapa de aplicação do produto educacional.



Fonte: Elaboração própria.

Movimento Uniformemente Variado

Olá, pessoal! Agora que nós compreendemos alguns conceitos importantes em relação aos estudos dos movimentos e de queda dos corpos precisamos compreender de que maneira é possível determinar a ação da aceleração sob a velocidade de um corpo em função do tempo. Vamos nessa?

Diferentemente dos Movimentos Uniformes (MU), aquele que possuem aceleração nula, ou seja, não sofrem variação na velocidade, os Movimentos Uniformemente Variados (MUV), como já vimos, possuem aceleração escalar instantânea constante e não nula, estando sujeitos, portanto, a variação na velocidade em função do tempo.

Sendo a aceleração escalar instantânea constante, pode-se concluir que ela coincide com a aceleração escalar média em qualquer intervalo de tempo. Ou seja:

$$a = a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{constante} \neq 0.$$

Para $\Delta v = v - v_0$, variação da velocidade e $\Delta t = t - t_0$, variação do tempo. Estes que são compreendidos a partir da subtração da grandeza final da grandeza inicial a qual se quer encontrar a variação.

Mas quem definiu matematicamente o efeito da aceleração?

Em seus estudos, Galileu reconheceu que outros cientistas antes dele já haviam observado que o movimento natural da queda de um corpo era acelerado. Mas ele afirma que a descoberta da proporção na qual essa aceleração ocorre foi obra dele mesmo. Vejamos o que escreveu:

Quando [...] considero que uma pedra, ao cair do repouso, adquire sucessivamente novos aumentos de velocidade, por que não acredito eu que esses aumentos ocorrem pela regra mais simples e mais evidente? Se observarmos isso com atenção não podemos descobrir adição ou incremento mais simples do que aquele que é acrescentado sempre da mesma maneira (in: COHEN, 1988, p. 117).

Galileu, portanto, defendia que a velocidade aumentava proporcionalmente ao tempo.

Em outras palavras, a variação da velocidade Δv estabelece uma relação de proporcionalidade direta com intervalo de tempo Δt correspondente. Ou seja, no MUV a velocidade escalar apresenta variações iguais em intervalos de tempo iguais, em que a relação de proporcionalidade é a própria aceleração:

$$v \propto t, \quad \text{tal qual} \quad v = a.t \quad .$$

Isso para casos em corpos com velocidade inicial nula, corpos em queda. Agora, preste atenção, para movimentos com velocidade inicial não nula, v_0 como velocidade escalar no instante t_0 e v como a velocidade escalar em um instante t , posterior, observe que ao substituir t_0 por 0 na equação e manipularmos as grandezas de modo a deixarmos a velocidade isolada em um termo da equação, chegamos à seguinte conclusão:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \rightarrow v = v_0 + a.t \quad .$$

Com essa definição, é possível estabelecer uma maneira de prever, em determinado instante do movimento, qual velocidade estará associada a esse corpo. Função que determina de que maneira a velocidade escalar varia no decurso do tempo.

Dessa forma chegamos à função horária da velocidade, em que v_0 e a são constantes e para cada valor de tempo t há um valor de v associado. Ou seja, a partir de

uma aceleração que atua sob um corpo em um decurso de tempo, com o recurso da função horária da velocidade, conseguimos prever os valores de velocidade deste corpo a cada instante.

Vamos, agora, rotacionar pelas estações sobre a função horária da velocidade do movimento uniformemente variado.

Estação A – Simulação gráfica

Link:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mech_pohyb&l=pt

Aqui vamos observar o comportamento gráfico da função horária da velocidade e o comportamento constante da aceleração no gráfico Aceleração x Tempo.

Procedimento: Para que o carro inicie o movimento e consequentemente a construção gráfica é necessário que, primeiramente, seja definido um valor de aceleração. Esta definição é realizada através dos botões com indicação de avanço “>” e retrocesso “<”, localizados no canto inferior esquerdo da tela. Estes botões aumentam ou diminuem o valor da aceleração, esta que poderá ser definida de forma arbitrária.

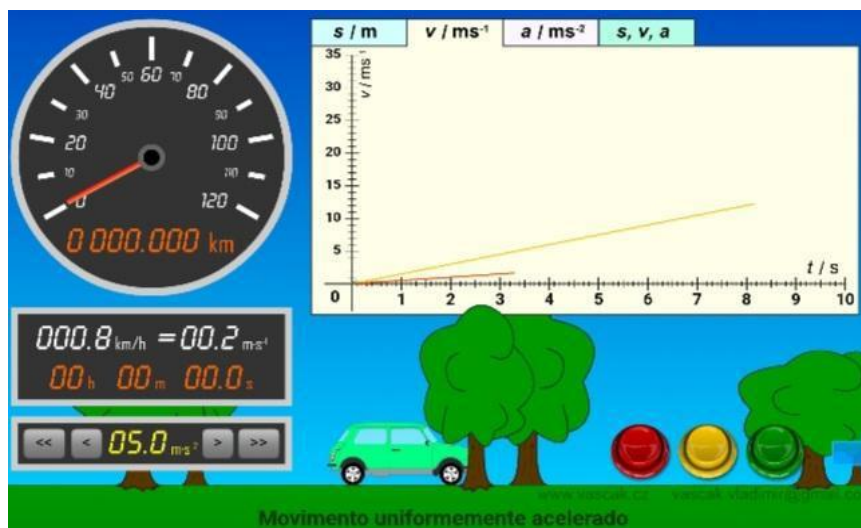
Determinado o valor da aceleração, o segundo passo para início do procedimento de visualização da simulação é necessário ao clicar no botão verde no canto inferior direito.

Os botões vermelho e amarelo têm a função de apagar o progresso no gráfico, bem como congelar a construção gráfica para maiores observações, respectivamente.

Existem as abas s/m , v/ms^{-1} , a/ms^{-2} que correspondem às construções gráficas da função horária do espaço, função horária da velocidade e função horária da aceleração correspondentes ao movimento. Na última aba ‘s, v, a’ os três gráficos das abas anteriores são apresentados simultaneamente para fins de comparação.

Sugere-se que nesta etapa o foco esteja na aba v/ms^{-1} que corresponde à função horária da velocidade. Os demais gráficos serão explorados em uma etapa posterior do estudo.

Figura 7 – Simulação Vascak sobre MUV.



Fonte: www.vascak.cz.

Questões

1- A partir da visualização gráfica das grandezas Velocidade x Tempo é possível observar a relação com a fala de Galileu: “[...] se observarmos isso com atenção não podemos descobrir adição ou incremento mais simples do que aquele que é acrescentado sempre da mesma maneira (in: COHEN, 1988, p. 117)? Comente.

2- Descreva o comportamento da aceleração no gráfico Aceleração X Tempo.

3- Lembra do coeficiente angular e do coeficiente linear das aulas de matemática? A aceleração é o coeficiente angular na equação $v = v_0 + a.t$ e v_0 é o coeficiente linear. Concorda? Comente.

Estação B – Experimento

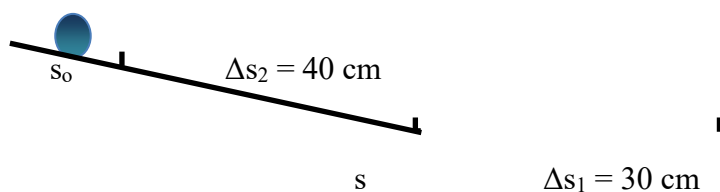
Função Horária da Velocidade

I - Material:

- 1 trilho de alumínio ou PVC de aproximadamente 1,20 metro formando duas calhas;
- fita adesiva;
- esfera de borracha
- cronômetro graduado em milésimos de segundo;
- régua milimetrada.

II - Procedimento:

Conecte as duas calhas como demonstra a figura abaixo, a uma inclinação de aproximadamente 20 ou 30 graus. A esfera será abandonada com $v_o = 0$ cm/s. O $\Delta s = 30$ cm será usado para calcular uma velocidade média $\Delta s / \Delta t$. Esta velocidade será considerada, aproximadamente a velocidade final do movimento na rampa inclinada. O espaço inicial $s_o = 0$ cm pode ser escolhido em algum ponto próximo ao início da calha (marque para não ser alterado).



- 1- Medir o tempo três vezes para o corpo percorrer o $\Delta s_1 = 30$ cm. Calcular o tempo médio.

 $t_1 =$
 $t_2 =$
 $t_3 =$
 $t_1 =$

- 2- Calcular $v_m = \Delta s_1 / \Delta t$, em cm/s, usando o t_1 .

 $v_m =$

Esta velocidade será considerada a velocidade v final do movimento na rampa.

- 3- Medir o tempo três vezes para o corpo percorrer o $\Delta s_2 = 40$ cm. Calcular o tempo médio.

$$t_1 = \quad t_2 = \quad t_3 = \quad t_2 =$$

- 4- Calcular a aceleração do corpo na rampa em cm/s^2 .

$$a = a_m = \Delta v / \Delta t$$

- 5 – Pronto, estamos preparados para montar a equação $v = v_o + a.t$ do movimento na rampa. Coloque na equação o ' v_o ' e o ' a '.

$$v = \quad + \quad .t$$

Ela pode ser usada para calcular a velocidade ' v ' em qualquer lugar da rampa, basta inserir um t qualquer.

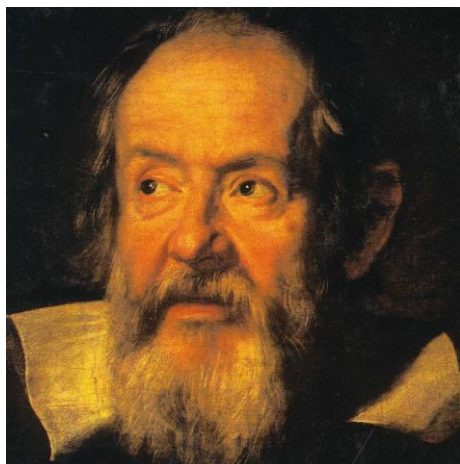
Questões

- 4 - Imagine se o tempo medido fosse $t = 20\text{s}$. Qual seria a velocidade da esfera?

- 5 - Se eu conseguisse determinar uma velocidade $v = 10\text{cm/s}$, qual seria o tempo determinado?

Estação C – Texto histórico - Explorando o pensamento de Galileu na construção da função horária da velocidade.

É importante lembrar que Galileu realiza as primeiras descrições do que seria a ação da aceleração da gravidade e seus efeitos em um corpo através de suas experiências,



seja na suposta experiência realizada na Torre de Pisa, como já vimos anteriormente, seja na experiência do plano inclinado que se você ainda não teve contato, em breve terá.

A partir da clareza obtida através de tais experimentos: de que o movimento de queda é acelerado

<https://www.ccvalg.pt>

e que a aceleração da gravidade possui um valor constante, Galileu, então, dedica-se a investigar de

que maneira variava a velocidade no movimento de queda.

Galileu defendia que a velocidade aumentava de forma proporcional ao tempo e disso nós já sabemos. Mas vamos explorar de que maneira ele chegou a essa conclusão?

Galileu apresenta um processo de criação de ideias diferente do que se via até então em manuais elementares. Para esses manuais, primeiro é necessário reunir todas as informações importantes, estas através de observações e experiências realizadas, depois classificar os resultados obtidos, estabelecer uma relação matemática entre esses resultados até que se estabeleça uma lei (essa seria a visão empirista).

No entanto, no procedimento de Galileu, o pensamento e criação das ideias se dava com um 'lápiz', 'caneta' ou 'papel' (ou pergaminho e pena), pensando, criando e elaborando ideias através da abstração. Contudo, não podemos ignorar o fato de que experiências foram realizadas, mas também é preciso compreender que seu pensamento criador era caracterizado por uma interação constante entre os dados experimentais e ideias teóricas, sendo estas vindo primeiro e ocupando um papel mais importante (visão hipotético-dedutiva).

A maior realização de Galileu concentrou-se não somente nas descobertas da lei da queda dos corpos, mas também na inauguração de um método que aliava a experimentação, a análise matemática e, também, as deduções lógicas.

6 - Para você, de que maneira Galileu teria realizado a descrição da função horária da velocidade?

7 - Em sua concepção, o estabelecimento da função horária da velocidade teria se dado de maneira mais experimental, ou por meio de uma dedução lógica de Galileu? Justifique.

Estação D – Questões discursivas de cunho quantitativo

Questões

8- Imagine a seguinte situação: um nadador participa de uma competição e realiza o percurso com aceleração constante de 6 m/s^2 . Este nadador iniciou o percurso com velocidade inicial de 2 m/s . Determine a velocidade que ele possuirá, decorridos 4 segundos da largada.

9- Um automóvel, partindo do repouso, ou seja, iniciando o percurso com velocidade inicial igual a 0 m/s , adquirirá velocidade igual a 10 m/s , decorridos quantos segundos do início do percurso? Considere a aceleração desse móvel constante e igual a 2 m/s^2 .

10- Um atleta adquire aceleração constante de 8 m/s^2 ao iniciar uma corrida de rua. Como acontecem nas largadas, os competidores iniciam a corrida do repouso, ou seja, com velocidade inicial nula. Calcule a velocidade que esse atleta terá após correr por 12 segundos.

11- Sabendo que a velocidade inicial de um helicóptero na decolagem é de aproximadamente 2 m/s , e que após 3 segundos de voo, este adquire velocidade de 5 m/s . Determine a aceleração deste helicóptero.

SEXTA ETAPA

Estações/Questões

Figura 3 – Esquema das estações da sexta etapa de aplicação do produto educacional.



Fonte: Elaboração própria.

Movimento Uniformemente Variado

De fato, não é possível provar que Galileu tenha ou não realizado a experiência de deixar cair sobre o alto da Torre de Pisa dois corpos de massas diferentes e, assim, buscar compreender os efeitos da aceleração da gravidade sob corpos na superfície terrestre. Isto devido a motivos diversos, seja por causa da dificuldade do risco de se subir ao alto da torre, seja em virtude por exemplo da dificuldade em se medir o tempo de queda, visto que a época não tinha cronômetro em celulares, como temos agora.

No entanto, nos estudos deixados por Galileu existe a descrição de uma experiência que o levou a importantes conclusões sobre a lei de queda dos corpos e as equações envolvidas.

Veja a descrição realizada por Galileu e a seguir na figura 8, uma imagem que representa a experiência realizada por ele.

Em uma régua, ou mais exatamente uma viga de madeira, medindo cerca de seis metros de comprimento e com a espessura de três dedos, cavamos um pequeno canal com pouco mais de um dedo, perfeitamente retilíneo; em seguida o guarnecemos com uma folha de pergaminho bem lustrosa, para torná-lo o mais escorregadio possível, e deixamos correr sobre ele uma bola de bronze bem duro, perfeitamente redonda e polida. Colocando então o aparelho numa posição inclinada e elevando uma das extremidades a 50 cm ou um metro acima do horizonte, deixamos, como já disse, a bola rolar sobre o canal [...] anotando o tempo necessário para uma descida completa. A experiência foi repetida várias vezes, além de determinarmos

exatamente a duração do tempo, mas sem que nunca descobríssemos uma diferença superior a décima fração de um batimento de pulso. Depois de colocar a bola no lugar e tomar essa primeira medida, fizemos com que ela descesse somente a quarta parte do canal; o tempo medido era sempre e rigorosamente igual a metade do tempo precedente. Em seguida, variamos a experiência, comparando o tempo necessário para percorrer a metade e os dois terços, ou três quartos, ou uma outra fracção; repetindo essa experiência mais de cem vezes, verificamos sempre que os espaços percorridos estavam entre si como os quadrados dos tempos, fosse qual fosse a inclinação do plano, ou seja, do canal pelo qual se fazia descer a bola.” (in: COHEN, 1988, p. 122¹).

Figura 8: Experiência do Plano inclinado realizada por Galileu.



Fonte: Projecto Física, Unidade 1 (1978)².

Ao realizar este experimento, Galileu chega às seguintes conclusões: a primeira era de que quando uma esfera rolava no percurso delimitado pelo plano inclinado, este que fazia um ângulo fixo com a horizontal, o quociente (divisão) entre a distância percorrida e o quadrado do tempo eram sempre os mesmos. Observe a equação (1), para distâncias d_1 , d_2 e d_3 e t_1 , t_2 e t_3 correspondentes ao tempo que as esferas levam para percorrê-las:

$$\frac{d_1}{t_1^2} = \frac{d_2}{t_2^2} = \frac{d_3}{t_3^2}$$

¹ COHEN, Bernard I. *O Nascimento de uma Nova Física*. Trad. M. A. Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1988.

² PROJECTO FÍSICA. Unidade 1 – conceitos de movimento. Trad. João Manuel Gaspar Caraça e Paulino Magalhães Corrêa. Lisboa: Fundação Caloutre Gulbenkian. v.1, 1978. 204p. Tradução de: Project physics (Projeto Harvard de física).

A segunda conclusão se refere a inclinação da rampa. De fato, a inclinação da rampa não teria interferência nos resultados? Galileu descobriu que os resultados da equação d/t^2 tomavam novo valor para cada ângulo de inclinação correspondente, mas observou que estes resultados permaneciam constantes para cada inclinação. Lógico que quanto maior a inclinação, maior seria o valor do quociente. E para uma inclinação de 90° graus? Tal como um objeto em queda, o comportamento de constância do valor obtido entre d/t^2 permanecia o mesmo? Para Galileu, sim e ele conclui que o movimento de queda livre, assim como o do movimento de descida da esfera de uma rampa em plano inclinado, era um movimento acelerado, com aceleração constante, sendo o ângulo de 90° correspondente à queda livre, desprezando-se a ação do ar.

Mas como estabelecer uma relação, assim como foi feita para a velocidade, entre a distância e o tempo para esses casos de movimento acelerado? Bom, vamos lá!

Para que seja possível estabelecer uma função horária do espaço, precisamos relembrar as equações que nos fornecem a variação velocidade (1) e a velocidade média (2)³:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0} \quad (1) \quad \text{e} \quad v_m = \frac{v - v_0}{2} \quad (2).$$

Certo, agora, adotando a velocidade inicial v_0 como nula e também s_0 como nulo, neste caso como uma ferramenta matemática a fim de facilitar a manipulação matemática, chegamos a seguintes equações (3) e (4):

$$s = v_m \cdot t \quad (3) \quad \text{e} \quad v_m = \frac{v}{2} \quad (4)$$

Substituindo a equação (4) na equação (3), temos:

$$s = \frac{v}{2} \cdot t \quad (5).$$

Mas e o termo da aceleração? Vamos relembrar a função horária da velocidade, adotando v_0 como nula:

$$a = \frac{v}{t} \quad (6), \quad \text{tal qual} \quad v = a \cdot t \quad (7).$$

³ Esta relação conhecida por Galileu já havia sido estabelecida por Domingo de Soto para os movimentos uniformemente variados.

Agora substituindo a equação (7) na equação (5):

$$s = \frac{a.t.t}{2} \quad \text{ou} \quad s = \frac{a.t^2}{2} \quad (8) .$$

Chegamos, portanto, a uma função que determina o espaço em função do tempo no movimento uniformemente variado e, de acordo com Galileu, também válida para queda livre.

Se considerarmos o espaço inicial s_0 e a velocidade inicial v_0 a equação fica da seguinte maneira:

$$s = s_0 + v_0.t + \frac{a.t^2}{2} \quad (9) .$$

A determinação desta equação e sua aplicação em experimentos controlados são consideradas o início do que chamamos Método Científico, no âmbito do Racionalismo Crítico. Portanto, pode-se dizer que Galileu é o pai do Método Científico e da Física, como entendemos hoje (COHEN, 1988). Ele uniu a dedução lógica, a análise matemática e a experimentação. Existem outras visões do que seria o Método Científico, mas vamos adotar aqui esta visão, em consonância com filósofos como Popper e Lakatos e historiadores como Cohen.

Vamos agora rotacionar pelas estações sobre a função horária dos espaços do movimento uniformemente variado.

Estação A – Experimento: Plano inclinado

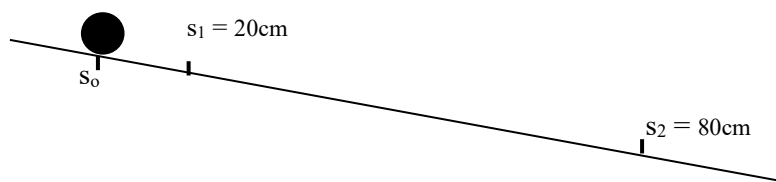
I- Objetivos: - Caracterizar um Movimento Uniformemente Variado; - Calcular a aceleração e a velocidade de um móvel em M.U.V.

II- Material:

- 1 esfera de borracha ou metal
- 1 cronômetro
- 1 trilho ou calha
- 1 régua milimetrada

III- Procedimento Experimental:

- 1) Colocar o trilho metálico (ou calha) ligeiramente inclinado.



- 2) Marcar um ponto no início da régua (será o $s_0 = 0$). Colocar a segunda marcação a 20cm de s_0 (será o s_1).
- 3) Cronometrar três vezes o tempo para o móvel percorrer Δs_1 a partir do repouso em s_0 . Determinar o tempo médio 1 das medidas.

$$t_1 = \quad t_2 = \quad t_3 = \quad t_1 =$$

- 4) Colocar uma terceira marcação (será o s_2) a 80cm de s_0 .
- 5) Repetir o procedimento do item 3 para Δs_2 .

$$t_1 = \quad t_2 = \quad t_3 = \quad t_2 =$$

Questões

- 1- Calcular a aceleração do móvel nos procedimentos dos itens 2 e 3, e 4 e 5 usando a expressão:

$$a = 2 \cdot \Delta s / t^2$$

$$a_1 =$$

$$a_2 =$$

- 2- Calcular o valor médio das acelerações.

$$a =$$

- 3- Os valores de a_1 e a_2 foram muito diferentes? O movimento pode ser considerado Uniformemente Variado?
- 4- Conseguimos mostrar que ao quadruplicar o espaço, o tempo dobrou?
- 5- Então, o espaço é proporcional ao quadrado do tempo?
- 6- A equação de Galileu tem amparo experimental?

Estação B – Comportamento Gráfico

Link da simulação:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=mech_pohyb&l=pt

Aqui vamos observar o comportamento gráfico da função horária do espaço e o comportamento constante da aceleração no gráfico Aceleração x Tempo.

Esta simulação gráfica já havia sido utilizada em uma etapa anterior. Para que seja possível utilizar a simulação gráfica aplicada no movimento uniformemente acelerado, é necessário clicar na seta azul, no canto inferior direito da tela.

Procedimento: Para que o carro inicie o movimento e, conseqüentemente, a construção gráfica é necessário que primeiramente seja definido um valor de aceleração. Esta definição é realizada através dos botões com indicação de avanço “>” e retrocesso “<” localizados no canto inferior esquerdo da tela. Estes botões aumentam ou diminuem o valor da aceleração, esta que poderá ser definida de forma arbitrária.

Determinado o valor da aceleração, o segundo passo para início do procedimento de visualização da simulação é necessário clicar no botão verde no canto inferior direito.

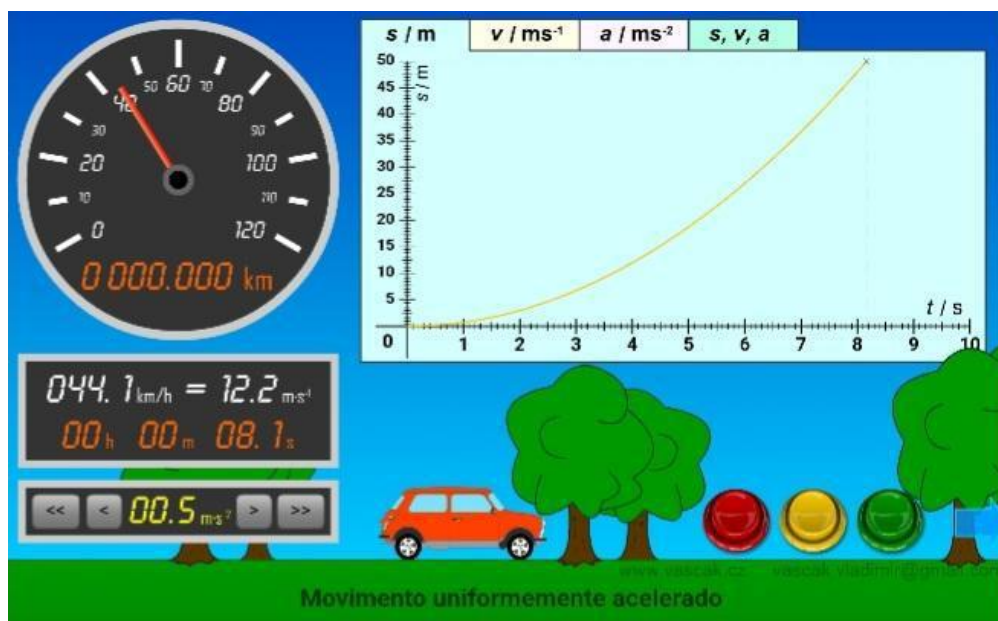
Os botões vermelho e amarelo têm a função de apagar o progresso no gráfico, bem como congelar a construção gráfica para maiores observações, respectivamente.

Existem as abas s/m , v/ms^{-1} e a/ms^{-2} que correspondem às construções gráficas da função horária do espaço, função horária da velocidade e função horária da aceleração correspondentes ao movimento. Na última aba s , v e a , os três gráficos das abas anteriores, são apresentados simultaneamente para fins de comparação.

Sugere-se que se inicie a observação através do gráfico s/m e posteriormente avançando, aba por aba, a fim de que vocês possam observar as características das construções.

Vale ressaltar que a aba (v/ ms^{-1}) já foi explorada em uma etapa investigada anteriormente, que correspondia à construção da função horária da velocidade, então, sugere-se que haja um direcionamento para que sejam observadas as abas s / m , da função horária do espaço e a / ms^{-2} da função horária da aceleração.

Figura 9 – Simulação Vascak sobre MUV.



Fonte: www.vascak.cz.

Questões

7- A representação gráfica na construção da função horária do espaço (s / m) apresenta característica de uma função de qual grau?

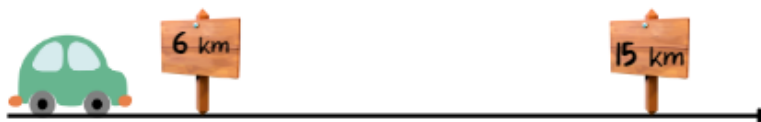
8- É possível observar a relação de constância do valor da aceleração a partir da visualização do gráfico Aceleração x Tempo (a / ms^{-2}). Qual é o valor observado?

9- A observação dos três gráficos na aba 's, v e a' pode esclarecer de que maneira é estabelecida as relações do espaço e da velocidade em função do tempo? Comente.

Estação C – Questões

10 - Um corredor inicia o percurso a partir da largada, ou seja, em repouso, e mantém aceleração constante de 6 m/s^2 . Calcule o espaço percorrido pelo corredor após passados 20 segundos da largada.

11- Uma família decide viajar nas férias. A cidade em que mora fica situada no quilômetro 6 da rodovia e o destino da viagem se encontra no quilômetro 15. Partindo do repouso o motorista e sua família se deslocam com uma aceleração constante de 20 m/s^2 . Determine a velocidade com que a família passará pelo quilômetro 100. Lembrando que quilômetros equivale a 1000 metros.



Fonte: Elaboração própria.

12- Um jovem deixa cair do alto de um edifício um tênis e de acordo com suas observações este levou 3 segundos para tocar ao chão. Considere a aceleração da gravidade igual a aproximadamente 10 metros por segundo ao quadrado e despreze a resistência do ar. Determine a altura do edifício em que o jovem deixou cair o tênis.

13- Imagine a seguinte situação: uma bola de boliche é solta do alto da Torre de Pisa, semelhante a suposta experiência realizada por Galileu. Determine, para a Torre com 10 metros de altura, o tempo em que essa bola de boliche toca o chão. Considere $a = 10\text{m/s}^2$.

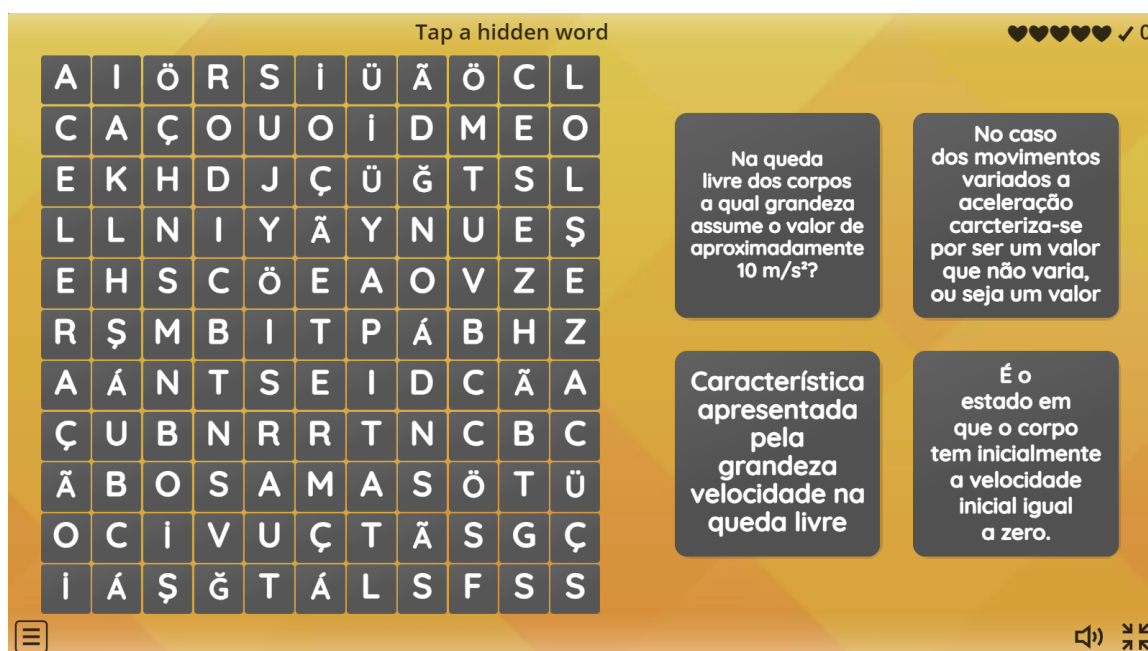
Estação D – Caça palavras

Olá, alunos! Nesta estação, vamos responder a um caça palavras na modalidade *online* acessando pelo *link*: <https://wordwall.net/resource/56921729>.

Como jogar?

O procedimento consiste em encontrar uma palavra no meio do quadro de embaralhamento e associar essa palavra a uma das opções contidas na lateral direita da tela conforme apresentada na figura 10, a seguir.

Figura 10 – Caça-palavras.



Fonte: Elaboração própria.

Caso a palavra esteja associada de maneira correta à opção, esta ficará em verde, caso contrário, em vermelho. O tempo para realização da atividade estará estabelecido previamente pelo professor, e vocês terão 10 minutos para realização da atividade.

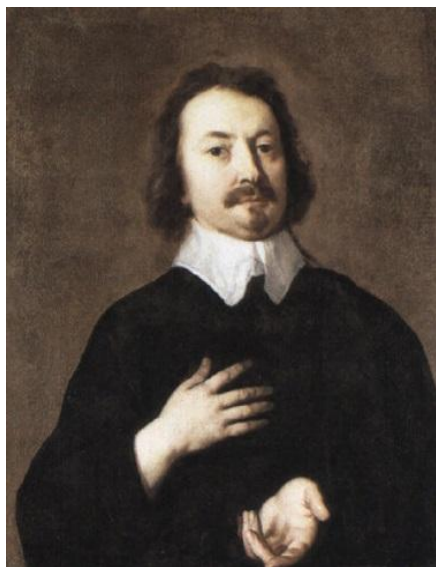
O número de vidas, ou seja, de chances, também será previamente estabelecido pelo professor e vocês terão 5 vidas. Lembrando que as vidas serão perdidas mediante associação errada das palavras encontradas com as opções disponíveis.

Para iniciar o jogo basta clicar no botão *start* no centro da tela. Sugere-se que a aplicação seja colocada em tela cheia para melhor experiência.

SÉTIMA ETAPA

Texto/Questões

A Equação de Torricelli⁴



Antes de compreendermos a equação de Torricelli, vamos compreender quem foi Evangelista Torricelli (1608-1647). Desde muito jovem ele demonstrava talentos incomuns e por esse motivo, devido ao seu desempenho, é enviado para Roma com o objetivo de dar prosseguimento aos seus estudos. Chegando em Roma, ele é direcionado pelo seu tio para estudar com Benedetto Castelli (amigo de Galileu). Essa proximidade com Galileu deu frutos e Torricelli tornou-se seu assistente e chegou após a morte de Galileu em 1642, a ocupar a cátedra de matemática em

seu lugar.

Fonte: Infoenem.

No entanto, pensa-se que a Equação de Torricelli origina-se dos estudos de Galileu e dessa proximidade entre os cientistas. O que de fato não é totalmente mentira. Tal equação teve origem nos estudos de Torricelli sobre o movimento da água. Isso mesmo! Galileu deu início aos estudos sobre movimento, então dizer que Torricelli, mesmo não estudando diretamente a cinemática de Galileu com relação a queda dos corpos, utilizou de seus conhecimentos para determinar sua famosa equação, ou seja, é mesmo verdade!

Torricelli estabelece tal relação ao tentar determinar a velocidade de saída de um jato d'água jorrando de um pequeno orifício do recipiente. Ele verifica em seus experimentos que se o jato fosse direcionado para cima, ele alcançaria uma altura menor que o nível do líquido no recipiente. Daí ele deduz a seguinte equação e afirma que tal relação pode ser estendida para corpos em queda livre:

⁴ Baseado em: MACEDO, M. A. R. A equação de Torricelli e o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 22, n. 4, 2010.

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s.$$

Em que v é a velocidade final;

v_0 a velocidade inicial;

a é a aceleração do corpo;

Δs a variação do espaço.

De tal modo que para corpos em queda:

$$v^2 = 2gh.$$

Em que v é a velocidade final;

g a aceleração gravidade;

h a altura.

Muito se utiliza essa equação para determinar as grandezas velocidade, aceleração ou altura quando não se obtém o termo tempo. Observe que nas outras equações estudadas anteriormente - função horária do espaço e função horária da velocidade, todas possuem o termo tempo ou alguma forma de encontrá-lo.

Vamos então aplicar a equação de Torricelli?

Questões

1 - Uma motocicleta tem velocidade inicial igual a 10 m/s e adquire ao longo do movimento uma aceleração constante de 1 m/s². Calcule sua velocidade após ele percorrer 150 metros.

2 - Imagine a seguinte situação: um menino deixa cair da janela do seu quarto um par de sapatos. Ele não sabe o tempo que seu sapato levou para tocar o chão, mas sabe que ao tocar o chão ele possuía uma velocidade de aproximadamente 2 m/s. Considerando que a aceleração da gravidade é 10 m/s². Determine a altura da janela do quarto do menino até o chão.

3 - Um moto tem velocidade inicial de 20 m/s e adquire uma aceleração constante e igual a 2m/s^2 . Calcule a distância percorrida ao atingir a velocidade de 30 m/s.

4 - Sabendo que a velocidade de uma aeronave no momento de decolagem é 300m/s, com aceleração constante de 50 m/s^2 , calcule quantos metros sobre a pista ela percorre a partir do repouso.

APÊNDICE I – Rotação por Estações

À guisa de introdução lançar-se-á mão da descrição do Modelo de Ensino Híbrido de Rotação por estações na presente seção.

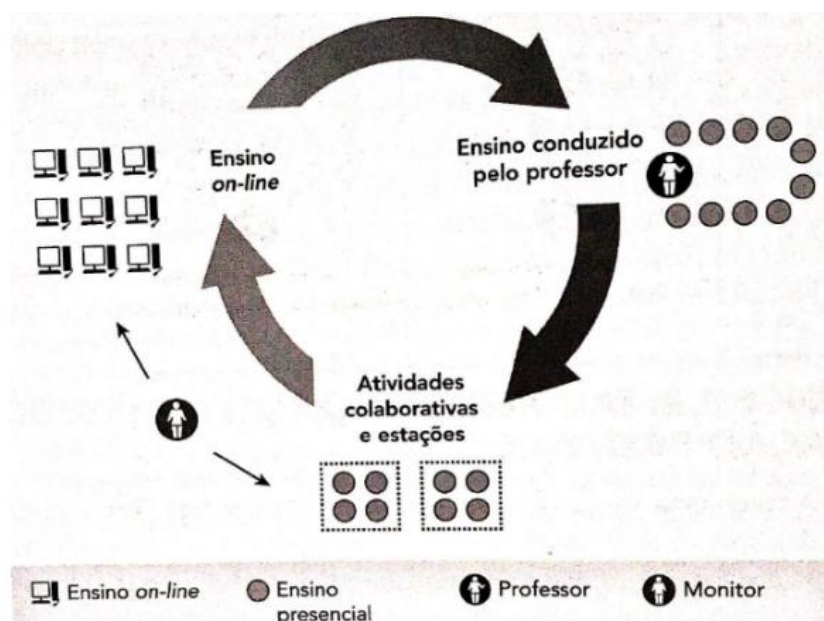
Neste modelo os alunos são divididos em grupos e são montadas estações de estudo com temas problematizadores e com estratégias de utilização diferentes e independentes entre si, mesmo que estas versem sobre o mesmo conteúdo ou conteúdos relacionados. Os grupos formados rotacionam por todas as estações em tempos pré-determinados, onde os alunos ficam livres para analisar e debater entre os integrantes do grupo as questões fornecidas em cada estação.

A disposto, Christensen, Horn e Staker (2013) definem que o modelo de Rotação é:

[...] aquele no qual, dentro de um curso ou matéria (ex: matemática), os alunos revezam entre modalidades de ensino, em um roteiro fixo ou a critério do professor, sendo que pelo menos uma modalidade é a do ensino *online*. Outras modalidades podem incluir atividades como as lições em grupos pequenos ou turmas completas, trabalhos em grupo, tutoria individual e trabalhos escritos (Christensen; Horn; Staker, 2013, p. 27).

A seguir, na figura 11 têm-se um esquema organizado por Horn e Staker (2015) acerca do Modelo de Ensino híbrido Rotação por Estações:

Figura 11 – Esquema do modelo Rotação por Estações.



Fonte: Horn e Staker (2015, p. 56).

Araújo e colaboradores (2023) assinalam ainda que neste Modelo Híbrido de Ensino, o professor assume um papel de instigador e provocador das discussões, de modo a promover o exercício da autonomia do alunado, aguçando a criticidade e a reflexão do estudante (Araújo *et al.*, 2023).

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. S. A; PONTES, L. F. B. L; BARBOSA, K. F; WEBER, K. C; LIMA-JUNIOR, C. G. Sala de aula invertida e modelo rotação por estações: uma breve revisão de suas aplicações no ensino de ciências. *Revista Virtual de Química*, p. 1–17, 2023. Disponível em: <<https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/RVq300123-a1.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2023.

CHRISTENSEN, C. M; HORN, M. B; STAKER, H. *Ensino híbrido: uma inovação disruptiva? Uma introdução à teoria dos híbridos*. 2013. Disponível em:<https://www.pucpr.br/wp-content/uploads/2017/10/ensino-hibrido_uma-inovacao-disruptiva.pdf>. Acesso em: 11 de jun. de 2023.

HORN, M. B.; STAKER, H. *Blended: usando a inovação disruptiva para aprimorar a educação*. Porto Alegre: Penso, 2015.