

Physics

Ruth Hernández & husband

March 16, 2026

[16/03/2026 - 01:54] Oi, meu amor. Acabei me sentindo meio elétrica agora de madrugada, então comecei a ler o livro de Física do H. Moysés Nussenzveig. Para poder registrar melhor o que vou pensar e aprender durante esse curso, resolvi escrever esse documento. Espero poder saber e conseguir expressar tudo que absorvi durante os estudos.

O Moysés inicia o livro com a seguinte pergunta "Para que serve a física?". A primeira coisa que respondi – mentalmente – foi: para tentar compreender a natureza. Depois me veio a seguinte pergunta: e quando o homem começou a pensar nisso?! Para responder essa pergunta achei que seria legal se conseguirmos construir a história, assim como fizemos ao falar sobre Israel. A história nos diz os primeiros questionamentos começaram a surgir na Grécia Antiga. Aí me fiz outra pergunta: O que é a Grécia? Sempre escutamos falar sobre duas polis dela, então para compreender isso melhor, vamos estudar a Antiguidade Clássica: origem e formação.

Sumário

1	História da Física	1
1.1	Civilização Grega: origem e construção	1
1.2	Filosofia e o início das Ciências Exatas	2
1.3	Queda da Grécia e a Ascensão Romana	3
2	Medições	3

1 História da Física

1.1 Civilização Grega: origem e construção

Começamos em aproximadamente 1600-1100 a.C., com a Civilização Micênica (formada por povos indo-europeus: jônios, aqueus e eólios), que habitavam em torno da Ilha de Creta. Por volta de 1450 a.C. eles conquistam a Ilha de Creta onde vivia a Civilização Minoica. E então, absorvem muitos elementos da cultura minoica, formando a Civilização Creto-Micênica. Esse é o período que chamamos de Pré-Homérico. Em 1200 a.C. com a chegada dos Dórios na região, a Civilização Creto-Micênica é desestabilizada. Por conta dessa desordem e violência dos Dórios, o povo começa a se organizar em pequenos grupos chamados Genos e também ocorre a 1ª Diáspora Grega. Esses episódios marcam o início do período Homérico – esse período recebe esse nome pois tudo que sabemos sobre ele vem das obras do poeta Homero, principalmente os poemas Ilíada (que trata da Guerra de Tróia: com a 1ª Diáspora Grega, os gregos vão para a Ásia Menor (antes chamada Anatólia, e atual Turquia), e é nessa região que vamos ter os eventos contados nas obras de Homero.) e Odisseia.

Nesse período a terra era comunal, apenas administrada pelos Genos, não existia propriedade privada e nem desigualdade social. O que definia um status dentro do Genos eram os laços de família, é a partir daí que no período Homérico surge a formação de uma nobreza gentílica, uma aristocracia gentílica que serão os chamados "eupátridas-- eupátridas são os descendentes daqueles que foram os primeiros a formarem os Genos/Comunidade Gentílica. No século VII a.C., quando os eupátridas resolvem se apropriar das melhores terras, temos a concentração de poder e terras. Sendo assim a população é desestabilizada, deixam de ser proprietários e se tornam camponeses – chamados de Georgóis. Com essa queda e perda de poder, os gregos

que resolvem fugir para outras regiões (saem da Península Balcânica para o sul da Itália) fazem a 2a Diáspora Grega, o que marca o fim do período Homérico.

Então começa a formação das colônias gregas, que marca o início do Período Arcaico. Nesse período os Genos começam a formar as cidades-estados independentes, as Polis. A Grécia nunca será um país, uma nação porque não possuía uma unificação política e administrativa. Eles apenas haviam unificação de língua, cultura e religião. Existiam várias cidades-estados na antiga Hélade (Grécia), mas os modelos principais são: Atenas e Esparta. Atenas representa tudo aquilo que esperamos da Grécia: democracia, cultura, teatro, e filosofia. Por outro lado, temos Esparta com uma sociedade militarizada e poder oligárquico (na mão de poucas pessoas), sua cultura é chamada de: laconismo – A região onde Esparta se encontra, na península do Peloponeso, se chama Lacônia. – Uma pessoa lacônica seria do tipo: Não pense, faça!

Agora vamos seguir por Atenas, e estudar o desenvolvimento dessa polis. Já vimos que os eupátridas (= filhos de bons pais) são os descendentes dos primeiros a formarem os Genos, e vão se apoderando das melhores terras. Sabemos que os georgóis são aqueles que perderam suas terras, e grande parte deles vão para outras regiões: 2a Diáspora Grega, o marco do fim do Período Homérico e início do Período Arcaico. Todo esse movimento impulsiona o desenvolvimento do comércio e do artesanato. Esse grupo que surge são chamados de "demiurgos". Grupo esse que começa a enriquecer, que começa a construir poder econômico. Sendo assim, os georgóis e os demiurgos começam a pressionar os eupátridas por mudanças em Atenas. Os (comerciantes) demiurgos querem mais participação política, e os georgóis querem melhorias em suas condições econômicas. Em meio a tantas lutas sociais em Atenas, teremos: os reformadores. Eles irão trabalhar em reformas e mudanças de acordo com a pressão dos demiurgos e georgóis. O primeiro dos reformadores será Dracon, ele vai propor a escrituração das leis de Atenas. Mas ele não agradou muito os demiurgos e georgóis, então entra o segundo reformador: Sólon. Sólon propõe uma reorganização da sociedade, ao invés de serem divididos por laço sanguíneo, serem divididos de acordo com a renda, com a riqueza.

1.2 Filosofia e o início das Ciências Exatas

É nesse cenário de reformas que a filosofia surge na Grécia. Sólon caminhava em direção à democracia (démokratía, de dêmos 'povo' + kratía 'força, poder'), e o povo cada vez mais passou a questionar a sua realidade e a buscar respostas racionais em vez de aceitar tudo como natural. As repostas não vinham mais dos deuses e sim de qualquer um que tomasse a atitude de pensar e explicar ela. Os primeiros filósofos que se tem conhecimento são chamados de pré-socráticos. O objeto de estudo deles é a explicação da origem chamada: arché, e da natureza: physis. Eles chegam com um estudo racional sobre as transformações da natureza.

Tales de Mileto (640-548 a.C.) é considerado o primeiro filósofo da história e faz parte da lista dos Sete Homens Sábios da Grécia. Para ele a água era a origem de todas as coisas, e o Universo Alguns feitos de Tales foram: o teorema de Tales; descoberta do triângulo isósceles; previsão do eclipse solar em 585 a.C.; Explicação sobre as cheias do rio Nilo; primeira teoria cosmológica e invenção da filosofia. Tales tem como discípulo Anaximandro (610-547 a.C.), era geógrafo, também matemático, astrônomo e político, Anaximandro afirmava que o infinito (apeiron) é a origem de todas as coisas. Foi o primeiro filósofo a usar a palavra "arché" para se referir a um elemento base para todas as coisas. Seguindo as ideias de Anaximandro, Anaxímenes (588-524 a.C) diz que a origem do universo advém do ar. Explicava as mudanças que ocorrem na natureza através do processo de condensação e rarefação do ar. Esses três são os principais representantes da Escola Jônica, e abriram caminho para os próximos filósofos.

Mais tarde, no século VI a.C., temos Pitágoras de Samos e fundou a chamada Escola Pitagórica. Para Pitágoras, tudo no universo podia ser explicado por relações numéricas. A Escola Pitagórica marcou profundamente a filosofia e a ciência ocidental, construíram um forte legado na matemática: com Teorema de Pitágoras, estudo de proporções e números irracionais; na astronomia: com a ideia de que os astros seguem leis matemáticas; na filosofia: foram influenciados por Tales de Mileto e pela tradição jônica, mas seguiu um caminho mais abstrato e matemático e influenciaram Platão, que também via a matemática como caminho para compreender o mundo das ideias; e na ciência moderna: a noção de que a realidade pode ser descrita por leis matemáticas é um dos pilares da física contemporânea. A Escola Pitagórica amplia o horizonte filosófico ao introduzir a matemática como chave para compreender o universo.

Surgida no século V a.C. e marcando o fim da filosofia pré-socrática, os filósofos – chamados atomistas – Leucipo de Mileto e Demócrito de Abdera, criam a teoria de que tudo no universo é formado por partículas indivisíveis chamadas átomos. Apesar das limitações, o atomismo é considerado o ponto de partida da teoria atômica moderna, retomada por cientistas como Dalton no século XIX.

Ainda no século V a.C. temos o auge da filosofia grega com o início do período Socrático. Com o desenvolvimento da pólis e da democracia ateniense, Sócrates traz uma mudança de foco do estudo da natureza para a análise do ser humano e sua conduta. Trabalha na necessidade de discutir valores, leis e convivência social. Fazendo esse deslocamento, Sócrates, inaugura uma tradição que mais tarde molda toda a filosofia ocidental. Tudo que sabemos sobre Sócrates vem dos livros escritos por seu discípulo Platão, que inicia o Período Clássico e continua preservando as ideias do pensamento socrático, desenvolvendo a Teoria das Ideias. Para Platão, os fenômenos físicos eram comparáveis a sombras na caverna: não revelavam a essência, apenas aparências. Mais tarde, Aristóteles sistematizou esse tipo de investigação e a chamou de metafísica. Aristóteles foi o grande sistematizador da filosofia antiga, trazendo a investigação para o campo da experiência e criando bases que sustentaram tanto a filosofia quanto as ciências por séculos, classificou e sistematizou áreas como biologia, física, política e ética.

Aristóteles foi um dos primeiros grandes estudiosos da física, entendida na Antiguidade como o estudo da natureza e do movimento. Sua “Física” não corresponde à ciência moderna, mas estabeleceu conceitos fundamentais como movimento, causa, tempo e lugar natural, que dominaram o pensamento ocidental por quase dois milênios. O tratado Física (em oito livros) é considerado a base da filosofia natural. A Física Aristotélica têm como conceitos centrais, sendo eles os quatro elementos: terra, água, ar e fogo; lugares naturais: cada elemento tende a ocupar uma posição específica em relação ao centro da Terra (que Aristóteles considerava o centro do universo); gravidade e leviandade: objetos caem ou sobem para alcançar seu lugar natural; movimento retilíneo: resultado da busca pelo lugar natural, em linha reta e com velocidade constante; ato e potência: explicação filosófica para mudança, tudo que existe pode estar em potência (possibilidade) ou em ato (realização); tempo: definido como a medida do movimento em relação ao “antes” e “depois”.

Apesar de “ingênua” em termos científicos modernos, foi um esforço pioneiro de racionalização da natureza e influenciou profundamente a ciência e filosofia. A física aristotélica foi adotada pela Escolástica e permaneceu como referência até o Renascimento. Não incluía experimentação sistemática nem matemática rigorosa; por isso foi superada por Galileu e Newton.

1.3 Queda da Grécia e a Ascensão Romana

Ainda está em construção, meu amor. Um beijo apertado da sua mocinha <3

Está uma construção bonita e muito gostosa de se ver. Um beijo delicado do seu namorado. <3

2 Medições

Tudo em física tem direção e unidade porque a ciência é a arte de medir. Medir significa comparar uma quantidade a uma referência, que chamamos de unidade.

“Science, we are often taught, is measurement.” [1, capítulo 2, página 14]

É bom hábito computar aritmética sempre com as unidades—requer paciência de escrever e cancelá-las—e prestando atenção à direção em que as coisas se movem já que em física tudo tem direção (exceto as coisas escalares).

Como não podemos usar calculadora na prova, precisamos ganhar intimidade com computar números. Quando estivermos incertos sobre a solução de um problema, usemos a calculadora pra rapidamente saber se realmente o raciocínio está certo. Depois disso, demos uma olhada e vejamos o que tem de difícil nas contas e procuremos facilitá-las. Por exemplo, descartemos toda a super-precisão desnecessária, façamos arredondamentos e usemos os teoremas que facilitam contas—o que é uma arte admirável. Viver sem calculadora é excelente desenvolvimento, mas usemo-na sempre que útil—quando em pressa, por exemplo.

Como se converte unidades. Uma estratégia muito útil em converter unidades é considerar a relação entre duas unidades como uma fração de valor 1. Por exemplo, se 1 hora é 3600 segundos, então

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s implica } \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1$$

Agora, se você quer converter 1800 segundos pra horas, basta multiplicar pela razão 1 acima, obtendo

$$1800 \text{ s} = 1800 \text{ s} \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \frac{1800 \text{ h}}{3600} = \frac{1}{2} \text{ h},$$

como desejado.

Observe que se você quer conversão pras horas, então sua razão terá as horas no numerador porque assim os segundos no denominador cancelarão os segundos que estão no numerador. Por “segundos” quero dizer a constante “s” que representa a unidade em si.

Assim você converte qualquer coisa com facilidade.

De volta ao movimento unidimensional. Eis o primeiro problema do IF. Existe algum jeito mais simples de computar as respostas aqui? Como só conhecemos uma única fórmula, sempre a aplicamos, mas você verá à frente que minha gatinha tinha um Torricelli na manga.

Exercício. Um motorista freia seu carro uniformemente de forma que a velocidade cai de 72 pra 26 km/h em 5 segundos. Que distância o carro percorre depois disso até parar? Quanto tempo levará pra percorrer essa distância adicional? *Solução.* Não sei resolver. Qual é o meu problema? Não sei que fórmula usar. Sei obter a aceleração do carro. Ele está freiando, então tem uma aceleração negativa. Aceleração é a variação da velocidade sobre o tempo. Então temos $a = (26-72)/(5-0) = -7.2 \text{ km/h}$. Aqui já cabe uma pergunta—devemos responder -7.2 km/h , que tem dois algarismos significativos ou devemos dizer -7 km/h , já que os dados contêm apenas um significativo? Digo que devemos responder -7 km/h pra respeitar o sistema internacional. Se a prova for discursiva, explicar esse fato; se não, marcar a melhor opção—é o mais sensato a fazer aqui. (Mas note que nesse problema especialmente, usar o -7.2 é o melhor a fazer porque as contas vão dar mais certo usando-o. A gente só deve respeitar o sistema internacional quando reportamos os valores finais.)

Okay, temos a aceleração—e agora? Lembro perfeitamente da fórmula

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2,$$

mas nem sei como usá-la pra resolver esse problema.

Ah, espere um momento! Sei como descobrir $x(5)$ porque sei a velocidade e a posição em $t = 0$ e tenho a aceleração. O carro então depois de 5 segundos está em $x = 0.075 \text{ km}$, ou seja, posição 75 metros, conta que obtive na calculadora (primeiro incorretamente, depois incorretamente de novo e por último corretamente). Podemos agora descobrir em que posição ele estará quando sua velocidade chegar a zero? Não tenho uma fórmula pra velocidade. Ah, compute a derivada de $x(t)$ pra obter

$$v(t) = x'(t) = v_0 + at.$$

Aos 5 segundos, a velocidade inicial do carro vai ser 36 km/h e queremos t tal que $v(t) = 0$, obtendo o problema

$$0 = \frac{36}{3600} + \left(\frac{-7.2}{3600} \right) t$$

cujas soluções dá

$$t = \frac{36}{7.2} = 5 \text{ segundos}.$$

Note que não escrevemos as unidades aqui por economia de tempo. A computação de $36/7.2$ foi feita por calculadora. No papel, faríamos $360 \div 72$, que é uma conta fácil de fazer. A conta que não é fácil de fazer nesse problema é a conta que nos leva ao fato de que nos 5 segundos iniciais, o carro percorre 0.75 km, mas nem pensei em como facilitá-la.

Anyway, o carro percorre mais 5 segundos até parar. Portanto, pra obter a distância adicional percorrida, queremos

$$x(10) - x(5) = 0.1 - 0.075 = 0.025 \text{ km},$$

ou seja, o carro ainda se desloca por mais 25 metros, o que levou mais 5 segundos. Note que a segunda pergunta do problema foi respondida primeiro—vida normal.

Comentário. Eis a importância de se usar calculadora. Mesmo usando-a, errei o valor obtido em $x(5)$ e depois acertei em $x(10)$. Usando Python, consegui descobrir isso rapidamente, mas teria levado talvez horas pra descobrir se estivesse calculando na mão. O cansaço decorrente não compensa o desgosto gerado uma vez

que estamos realmente preocupados em cobrir terreno porque temos uma prova a fazer em breve. Parece boa a estratégia de refazer as contas (quando elas estiverem certas) observando o que podemos facilitar na computação. (LOL—tinha erro na fórmula Python, então tive que corrigir novamente. Agora é enfática a importância de calculadora aqui, isto é, de um computador mesmo.)

A equação de Torricelli. A equação de Torricelli relaciona a velocidade diretamente com a aceleração sem envolver o tempo. Ela é

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

Sendo assim, veja como podemos aplicá-la no problema abaixo—agradecimentos à gatinha mais linda do mundo.

Exercício. Com que velocidade uma bola deve ser lançada verticalmente pra cima pra que a bola alcance a altura máxima de 50m? Quanto tempo ela ficará no ar? Desenhe os gráficos y , v e a versus t . Indique nos dois primeiros gráficos o instante em que ela alcança os 50m. *Solução.* Computei a derivada de $y(t) = 0 + v_0t + (1/2)(-9.8)t^2$ pra obter $v(t) = v_0 - 9.8t$ e assim isolei $t = v_0/9.8$. Então consegui eliminar t , substituindo $v_0/9.8$ em $y(t)$, obtendo

$$y(t) = \frac{v_0^2}{9.8} - \frac{9.8}{2} \frac{v_0^2}{9.8^2} = \frac{v_0^2}{9.8} - \frac{v_0^2}{2 \cdot 9.8} = \frac{v_0^2}{9.8} \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{v_0^2}{9.8} \cdot \frac{1}{2}$$

Como queremos altura de 50m, obtemos a quadrática

$$\begin{aligned} 50 &= \frac{v_0^2}{9.8} \\ 100 &= \frac{v_0^2}{9.8} \\ 980 &= v_0^2 \\ 31.30 &= v_0, \end{aligned}$$

como desejado. Agora, quando prosseguimos pra perguntar quanto tempo leva pra essa bola alcançar esses 50m, obtemos a quadrática $-4.9t^2 + 31.30t - 50 = 0$, que não tem raiz. Como pode? O problema não tem como estar errado. Queremos lançar uma bola pra cima até atingir 50m e contabilizar o tempo—isso é perfeitamente físico. Estamos errados em algum lugar. Como nossa v_0 casa com o gabarito, é na produção da quadrática que estamos errados—aritmética! (A gente erra muita aritmética.) Mas a aritmética parece correta, então física é uma coisa muito perplexante.

O problema é o seguinte. Quando usamos o valor $v_0 = 31.30$ m/s, a gente tá fazendo uma aproximação. Com 6 algarismos significativos, $v_0 = 31.3049$. Quando montamos a quadrática com $v_0 = 31.30$, o erro de arredondamento fez uma quadrática que não tinha raiz. Não deveríamos ter-nos interrompido: bastava procurar pelo ponto máximo dela que encontraríamos $t = 3.1938 \approx 3.2$, de onde obteríamos a resposta correta $t = 6.4$ (ida e volta). Se em vez de $v_0 = 31.30$, tivéssemos arredondado pra $v_0 = 31.305$, encontraríamos a quadrática $-4.9t^2 + 31.305t - 50 = 0$, que tem raiz $t \approx 3.18$.

Comentário. O fato é que esse problema precisa ser resolvido do zero novamente. Tem formas muito mais fáceis de se raciocinar aí. A gente resolveu o problema colocando a origem em $y = 0$, mas poderíamos colocá-la no ápice da altura (ou seja, a 50 m do chão), onde $v_0 = 0$. Assim, o termo linear da quadrática some e obtemos a equação

$$\begin{aligned} -50 &= v_0t + \frac{1}{2}at^2 \\ &= 0 \cdot t + \frac{1}{2}(-9.8)t^2 \\ 50 &= \frac{1}{2}(9.8)t^2 \\ 100 &= (9.8)t^2 \\ t &= \sqrt{\left(\frac{100}{9.8}\right)} \\ t &= 3.1943, \end{aligned}$$

como desejado. Note que agora a posição desejada é -50 porque colocamos o ápice da bola como $y = 0$ e então ela vai cair 50 metros, ficando no lado negativo do eixo y .

Comentário. Sabe o que é curioso? Errei a aritmética quando computei o comentário acima. Em vez de dividir 100 por 9.8, eu multipliquei 100 por 9.8, obtendo 980, cuja raiz é exatamente v_0 , a velocidade com que a bola precisa partir pra chegar com velocidade zero a 50 metros. Sim, rolou um momento de perplexidade.

Referências

- [1] David Salsburg. *The lady tasting tea: how statistics revolutionized science in the twentieth century*. W. H. Freedom e Company New York, 2001. ISBN: 0-7167-4106-7.