

https://www.youtube.com/watch?v=luvf_9EaJ0w&t=434s

Demystifying the Heisenberg Uncertainty Principle

Demytizace Heisenbergova principu nejistoty



[Fermilab](#)

773 tis. odběratelů

212 098 zhlédnutí 16. 10. 2023

The Heisenberg Uncertainty Principle is one of the most non-intuitive concepts in all of quantum mechanics. It says that it is impossible to precisely know both an object's location and its motion. Know one well and you must know the other poorly. The origins of this are deeply tied to the wave nature of matter and the connection between waves and momentum. In this video, Fermilab's Dr. Don Lincoln sorts it all out.

212 098 zhlédnutí 16. 10. 2023

Heisenbergův princip nejistoty je jedním z nejvíce neintuitivních konceptů v celé kvantové mechanice. Říká, že je nemožné přesně znát jak polohu objektu, tak jeho pohyb. Jednu znáte dobře a druhou musíte znát špatně. Počátky tohoto jsou hluboce spjaty s vlnovou povahou hmoty a spojením mezi vlnami a hybností. V tomto videu Dr. Don Lincoln z Fermilabu vše vyřeší.

0:00

(01)- In quantum physics, there are a lot of crazy sounding ideas, but the Heisenberg Uncertainty Principle might just be one of the craziest. A lot of videos explain what it means, but very few dig all the way down to the very bottom and see where it comes from. So, strap in and hold on. This one is going to get a bit bumpy. (intro music) For those of you who haven't heard about the Heisenberg Uncertainty Principle, it was invented The Heisenberg Uncertainty Principle back in 2012, when a disgruntled Albuquerque chemistry teacher uttered the immortal words: Say my name. Heisenberg. Sorry... I had to go there. I know it. You know it. Simply couldn't be helped. Okay- moving on. The principle was really devised back in 1927 by German physicist Werner Heisenberg. Basically, what it says is that for a quantum system, you can't simultaneously know a particle's location and motion. Measure one very well and you know nothing about the other and vice versa. If you know where an electron is, you have no idea how fast or even if it's moving. That's the gist. In one dimension, we can use x to represent a particle's position and we can use that particle's momentum as a measure of its motion. You could use velocity, but given the oddities of special relativity and quantum mechanics, it turns out that momentum is a better choice. Physicists use the letter p to represent momentum. Mathematically, Heisenberg's principle says that if we call the uncertainty in a particle's position Δx and the uncertainty in a particle's momentum as Δp , then the product of those two objects must be greater than a constant called \hbar , divided by two. By the way, \hbar is the symbol we use for a quantity called the reduced Planck constant. It's simple really. All it really says is that if you measure

one variable well, you will measure the other one poorly. You can't simultaneously measure both well. To understand the fundamental origin of the Heisenberg Uncertainty Principle, we need to go way back to 1807, when Jean-Baptiste Joseph Fourier submitted a manuscript entitled "Theory of heat propagation in solids," except, of course, in French. This is yet another one of those cases when a physicist discovered something that was invented a century ago by a European mathematician. Typical. For Insight Okay. So, what was Fourier's insight? Basically, he realized that for any function that you can build it by adding together the right amounts of sine and cosine waves. Don't believe it? Take a look at this very severe function. It's all square and stuff. How can you possibly make it using sine and cosine waves? Well, let's see. We'll start with a single sine wave. It kinda has the gross features we'd like to see, meaning it goes up and down in the right places but it's not very square. Let's see what happens if we add another sine wave, this one with three times as many waves and with an amplitude that is also one third as high. Well, that's looking a bit better. What if we add yet another sine wave, this time with five times as many waves as the original and also with an amplitude one fifth as high? This is starting to look promising. We can do this over and over again, and as we do, we see that the curve looks more and more like a square. Those little residual wiggles would go away if we did the process an infinite number of times. Cool, huh? By the way, if you want to see the actual equations, take a look at the links below. So that's the first idea, which is that we can create any function using a series of sines and cosines. The second idea is interesting. As I was adding more and more graphs, I was making this other plot, which kept track of how many different sine waves were added and how much amplitude each one contributed. The x-axis of this second plot is kind of funny. It is basically the number of wiggles—the number of wavelengths—in a fixed distance. There was one, then three, then five, and so on. For the purposes of this video, I'm going to write the number of wiggles as W , and it equals one over the wavelength. Wavelength is written as the Greek letter lambda. Shorter wavelength means higher W —that's how it works. So, now I need to make a super important point. These two graphs—the square one with position on the x axis and the one keeping track of how many sine waves were added and their amplitudes, which has W on the x axis, represent exactly the same information. The two plots are effectively the same thing, but one records the shape of the function in position space, while the other records the number and amount of waves, which we might call the function in W space. What Jean-Baptiste Fourier showed was

(01)- V kvantové fyzice existuje spousta bláznivě znějících nápadů, ale Heisenbergův princip nejistoty **neurčitosti** může být jedním z nejbáznivějších. Mnoho videí vysvětluje, co to znamená, ale jen velmi málo z nich se prohrabe až na samé dno a uvidí, **odkud pochází**. Tak se připojte a vydržte. Tohle bude trochu hrbolaté. (hudba úvodu) Pro ty z vás, kteří ještě neslyšeli o Heisenbergově principu nejistoty, **neurčitosti** byl vynalezen Heisenbergův princip nejistoty v roce 2012, kdy nespokojený učitel chemie v Albuquerque pronesl nesmrtelná slova: Řekni moje jméno. Heisenberg. Promiň... musel jsem tam jít. Vím to. Ty to víš. Jednoduše se nedalo pomoci. Dobře - pokračuj. Princip skutečně vymyslel již v roce 1927 německý fyzik Werner Heisenberg. V zásadě se říká, že **pro kvantový systém nemůžete současně znát polohu a pohyb částice**. Jedno velmi dobře změřte a o druhém nic nevíte a naopak. Pokud víte, kde se elektron nachází, nemáte ponětí, jak rychle a dokonce ani jestli se pohybuje. To je podstata. V jedné dimenzi můžeme použít **x** k reprezentaci polohy částice a můžeme použít hybnost této částice jako míru jejího pohybu. Mohli byste použít rychlost, ale

vzhledem k zvláštnostem speciální teorie relativity a kvantové mechaniky se ukazuje, že hybnost je lepší volbou. Fyzici používají písmeno **p** k vyjádření hybnosti. Matematicky Heisenbergův princip říká, že nazýváme-li nejistotu polohy částice **Delta x** a nejistotu hybnosti částice jako **Delta p**, pak součin těchto dvou objektů musí být větší než konstanta zvaná hbar dělená dvěma.

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_028.jpg

Heisenbergův princip neurčitosti v jednoduchém vyjádření. Převédeno do filozofické roviny:
„kvalita krát kvantita jsou konstantní. $0 \times \text{nekonečno} = 1 \times 1$ “

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_113.jpg ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_039.pdf ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_043.jpg ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_054.pdf ;

Mimochodem, h-bar je symbol, který používáme pro veličinu nazývanou redukovaná Planckova konstanta. Je to opravdu jednoduché. Ve skutečnosti to říká jen to, že když dobře změříte jednu proměnnou, změříte druhou špatně. Nemůžete dobře měřit obojí současně. Abychom pochopili základní původ Heisenbergova principu nejistoty, musíme se vrátit do roku 1807, kdy Jean-Baptiste Joseph Fourier předložil rukopis nazvaný „Teorie šíření tepla v pevných látkách“, samozřejmě s výjimkou francouzštiny. Toto je další z těch případů, kdy fyzik objevil něco, co před stoletím vynalezl evropský matematik. Typický. Fors Insign Dobře. Jaké byly tedy Fourierovy poznatky? V podstatě si uvědomil, že pro jakoukoli funkci ji můžete sestavit přidáním správného množství sinusových a kosinusových vln. Nevěříte tomu? Podívejte se na tuto velmi přísnou funkci. Je to všechno hranaté a tak. Jak to můžete udělat pomocí sinusových a kosinusových vln? No, uvidíme. Začneme jednou sinusovkou. Má tak trochu hrubé rysy, které bychom rádi viděli, což znamená, že se pohybuje nahoru a dolů na správných místech, ale není příliš hranatý. Podívejme se, co se stane, když přidáme další sinusovou vlnu, tuto s třikrát větším počtem vln a s amplitudou, která je také o třetinu vyšší. No, vypadá to o něco lépe. Co když přidáme další sinusovku, tentokrát s pětinasobným počtem vln než původní a navíc s pětinasobnou amplitudou vyšší? Začíná to vypadat slibně. Můžeme to dělat znovu a znovu, a jak to děláme, vidíme, že křivka vypadá stále více jako čtverec. Tyto malé zbytkové chvění by zmizely, kdybychom tento proces provedli nekonečněkrát. Super, co? Mimochodem, pokud chcete vidět skutečné rovnice, podívejte se na odkazy níže. Takže to je první myšlenka, která spočívá v tom, že můžeme vytvořit jakoukoli funkci pomocí řady sinů a kosinů. Druhá myšlenka je zajímavá. Jak jsem přidával další a další grafy, dělal jsem tento další graf, který sledoval, kolik různých sinusových vln bylo přidáno a jak velkou amplitudou každá přispěla. Osa x této druhé zápletky je trochu legrační. Je to v podstatě počet kmitů – počet vlnových délek – v pevné vzdálenosti. Byl jeden, pak tři, pak pět a tak dále. Pro účely tohoto videa napíšu počet chvění jako **W** a rovná se jednomu na vlnové délce. Vlnová délka se píše řeckým písmenem lambda. Kratší vlnová délka znamená vyšší **W** – tak to funguje. Takže teď musím udělat super důležitý bod. Tyto dva grafy – čtvercový s polohou na ose x a ten, který sleduje, kolik sinusových vln bylo přidáno a jejich amplitudy, který má na ose x **W**, představují úplně stejnou informaci. Tyto dva grafy jsou ve skutečnosti totéž, ale jeden zaznamenává tvar funkce v pozičním prostoru,

zatímco druhý zaznamenává počet a množství vln, které bychom mohli nazvat funkcí ve W prostoru. To, co ukázal Jean-Baptiste Fourier, bylo

.....

(02)- that the two graphs contain exactly the same amount of information and furthermore, how to transform from one to the other. The method is called a Fourier Transform and it is used all the time in electrical engineering, signals processing, and, as it happens, determining some deep truths about quantum mechanics. Now, remember in quantum mechanics that Wave Function everything is governed by a thing called a wave function. I made a video that goes into the wave function in more detail and, as always, the link is in the description below. However, the bottom line is that the quantum world is probabilistic. The mathematics tells you where something might be, but not where it is. Basically, where the wave function— actually the square of the wave function— is large, the particle is likely to be there. Conversely, where the square of the wave function is zero, the particle can't be there at all. The width of the wave function gives you a sense of the range of possible locations where the particle can be, which is a way of saying the width is a measure of your uncertainty of the position of the particle. So, let's dig into a simple and somewhat realistic wave function. This one is called a normal distribution— sometimes called a bell curve, with a width we can call Δx . This width is a measure of the places the particle could be. Thus, Δx is basically the uncertainty in x . We can do a Fourier transform and find out what the shape of the curve will be in W space. It turns out that the Fourier transform of a normal distribution is also a normal distribution. That's just kind of weird, but that's how it goes. If you want to see the math, again, there's a link in the description. Now here is the most important point. It turns out that the width of the normal distribution in W space is related to the width of the normal distribution position or x space. So, if you do the math, you find that ΔX times ΔW is equal to one over two times π . So, what does that mean? It means that if Δx gets small, then ΔW gets big and vice versa. They can't both be small at the same time. Okay- one last thing. You may not know this, Planck Constant but way back in 1924 a man by the name of Louis De Broglie was working on inventing quantum mechanics. He proposed in his PhD thesis that the momentum of a wave is equal to a constant called the Planck constant, divided by its wavelength. We write Planck's constant as h , by the way. Since W equals one over the wavelength, that means that momentum is equal to h times W . And that, of course, means that Δp equals h times W . We can then divide both sides by h and we have an equation for ΔW , which we can then put into the equation we got from Fourier transforms of normal distributions and we get that Δx times Δp equals h over two π , which is the reduced Planck constant, which I remind you, we write \hbar .

Summary So, this looks a lot like the Heisenberg Uncertainty Principle, although it's missing that one-half factor, which means that I haven't derived the uncertainty principle here. It turns out that derivation is a little more complicated than the illustrative approach that we've taken in this video, and I don't want to get bogged down in the math. I put a link in the description for those of you that want to dive into that. But the detailed math isn't the point. What I wanted to show you here is the underpinnings of the Heisenberg Uncertainty Principle. So, let's recap. One. A wave function tells you where a particle can be, and it has a range of possible locations that's called Δx . Two. Any wave function can be built out of a sum of sine or cosine waves. Three. Fourier transforms show that the range of locations and the range of waves are connected. Four. The momentum of a wave depends on its wavelength.

When you combine these four ideas, you have everything you need to see where the Heisenberg Uncertainty Principle comes from. It's tied deeply into the principles of quantum mechanics and the fact that waves govern the quantum world, and you can't get around it. (moody blues guitar music) Okay, so that was a bit long and a bit deep, but some topics are like that. If you enjoyed the video, please like, subscribe, and share. And tell all of your friends. Perhaps most importantly, I hope that you'll remember that while chemistry is interesting, physics is everything.

9:30

(moody blues guitar music)

.....

(02)- že dva grafy obsahují přesně stejné množství informací a navíc, jak se z jednoho na druhý převést. Metoda se nazývá Fourierova transformace a neustále se používá v elektrotechnice, zpracování signálů a jak už to tak bývá, určování některých hlubokých pravd o kvantové mechanice. Nyní si pamatujte v kvantové mechanice, že vlnová funkce je vše řízena věcí zvanou **vlnová funkce**. Natočil jsem video, které se podrobněji věnuje funkci vlny a jako vždy je odkaz v popisu níže. Nicméně **podstatou je, že kvantový svět je pravděpodobnostní. Matematika vám řekne, kde by něco mohlo být, ale ne kde to je.** V zásadě platí, že tam, kde je vlnová funkce – ve skutečnosti druhá mocnina vlnové funkce – velká, tam částice pravděpodobně bude. Naopak, kde je druhá mocnina vlnové funkce nula, částice tam vůbec nemůže být. Šířka vlnové funkce vám dává představu o rozsahu možných míst, kde se částice může nacházet, což je způsob, jak říci, že šířka je mírou vaší nejistoty polohy částice. Pojďme se tedy ponořit do jednoduché a poněkud realistické vlnové funkce. Toto se nazývá normální rozdělení – někdy se nazývá zvonová křivka, jejíž šířku můžeme nazvat Δx . Tato šířka je mírou míst, kde by částice mohla být. Δx je tedy v podstatě nejistota v x . Můžeme provést Fourierovu transformaci a zjistit, jaký bude tvar křivky ve W prostoru. Ukazuje se, že Fourierova transformace normálního rozdělení je také normální rozdělení. Je to prostě divné, ale tak to chodí. Pokud chcete vidět matematiku, opět je v popisu odkaz. Nyní je zde nejdůležitější bod. Ukazuje se, že šířka normální distribuce ve W prostoru souvisí s šířkou pozice normální distribuce neboli x prostoru. Takže když to spočítáte, zjistíte, že Δx krát ΔW se rovná jedné ku dvěma krát π . Takže, co to znamená? Znamená to, že pokud se Δx zmenší, pak se ΔW zvětší a naopak. $\infty \cdot 0 = 1$. Nemohou být oba malé zároveň. Dobře - poslední věc. Možná to nevíš, Planckův konstant, ale v roce 1924 pracoval muž jménem Louis De Broglie na vynalezení kvantové mechaniky. Ve své disertační práci navrhl, že hybnost vlny se rovná konstantě zvané Planckova konstanta, dělené její vlnovou délkou. Mimochodem Planckovu konstantu píšeme jako h . Protože W se rovná jedné na vlnové délce, znamená to, že hybnost se rovná h krát W . A to samozřejmě znamená, že Δp se rovná h krát W . Pak můžeme obě strany vydělit h a máme rovnici pro ΔW , který pak můžeme dosadit do rovnice, kterou jsme dostali z Fourierových transformací normálních rozdělení a dostaneme, že Δx krát Δp se rovná h přes 2π , $\infty \cdot 0 = 1$, což je redukovaná Planckova konstanta, kterou připomínám, píšeme h bar. **Shrnutí: Takže to vypadá hodně jako Heisenbergův princip neurčitosti**, i když v něm chybí poloviční faktor, což znamená, že jsem zde neodvodil princip neurčitosti. Ukazuje se, že odvozování je o něco složitější než ilustrativní přístup, který jsme zvolili v tomto videu, a nechci se utápět v matematice. Pro ty z vás, kteří se do toho chtějí ponořit, dávám odkaz do popisu. **Ale podrobná matematika není smyslem.** To, co jsem vám zde chtěl ukázat, jsou **základy** Heisenbergova principu nejistoty.

Pojďme si to tedy zrekapitulovat. **01)** Vlnová funkce vám říká, kde se částice může nacházet, a má řadu možných umístění, která se nazývá Delta x. **02)** Jakákoli vlnová funkce může být postavena ze součtu sinusových nebo kosinových vln. **03)** Fourierovy transformace ukazují, že rozsah umístění a rozsah vln jsou propojeny. **04)** Hybnost vlny závisí na její vlnové délce. Když spojíte tyto čtyři myšlenky, **máte vše, co potřebujete, abyste viděli, odkud pochází Heisenbergův princip nejistoty. Ne nemáte vše...Do správné rovnováhy vám chybí $\Delta x / \Delta t$ viz ony čtyři web-odkazy. (*)** Je to hluboce svázáno s principy kvantové mechaniky a faktem, že **vlny vládnu kvantovému světu a nemůžete to obejít**. (náladová bluesová kytarová hudba) Dobře, takže to bylo trochu dlouhé a trochu hluboké, ale některá témata jsou taková. Pokud se vám video líbilo, dejte like, odběr a sdílejte. A řekni to všem svým přátelům. Snad nejdůležitější je, že doufám, že si pamatujete, že zatímco chemie je zajímavá, fyzika je vším.

.....
JN, 20.10.2023

(*)

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_113.jpg ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_039.pdf ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/f/f_043.jpg ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_054.pdf ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_027.jpg ;

http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_445.jpg