



# Heisenbergsche Unschärferelation

# Hintergrundinformationen

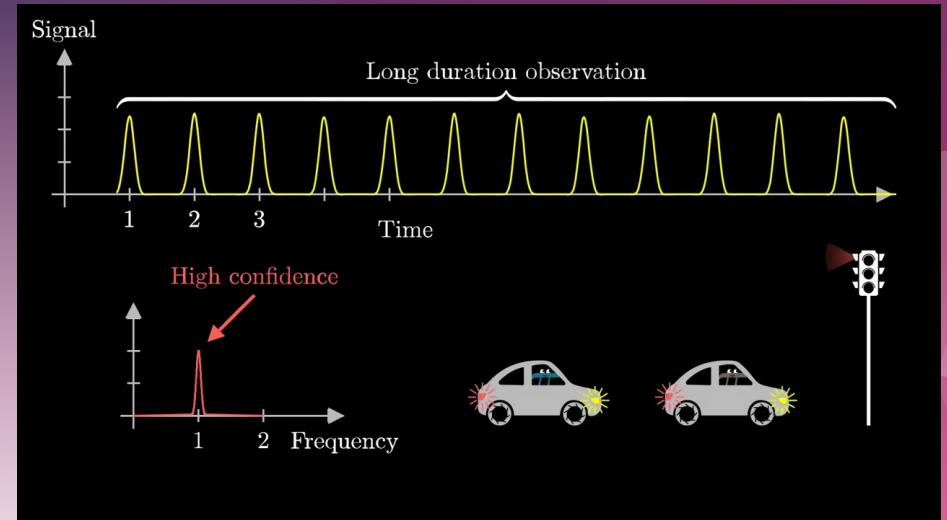
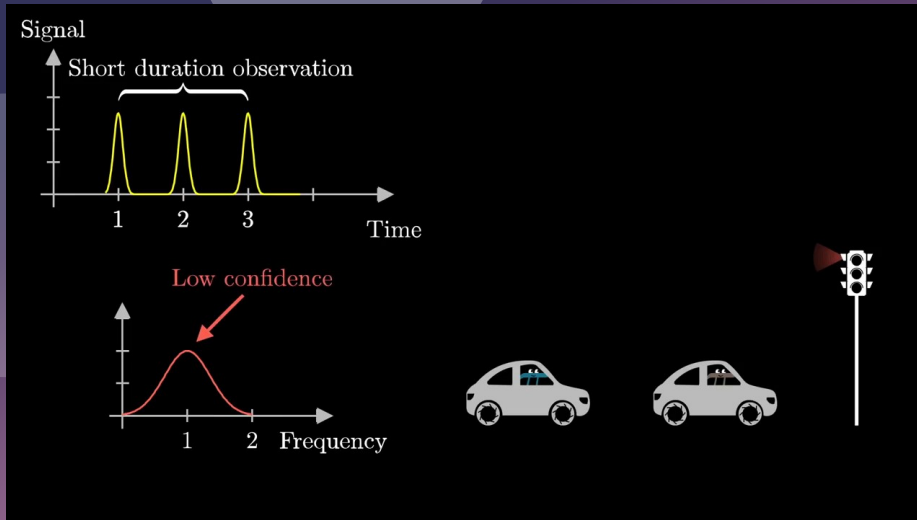
- 1927 von Werner Heisenberg im Rahmen der Quantenmechanik formuliert
- Verschiedene Unschärferelationen existieren
- Aussage einer Unschärferelation
  - Messobjekt
    - komplementäre Eigenschaften
      - Nicht gleichzeitig perfekt bestimmbar



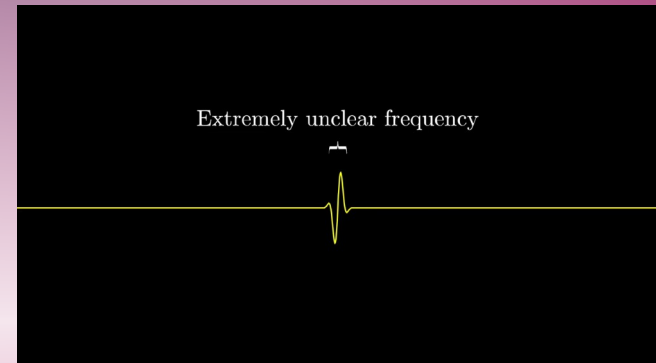
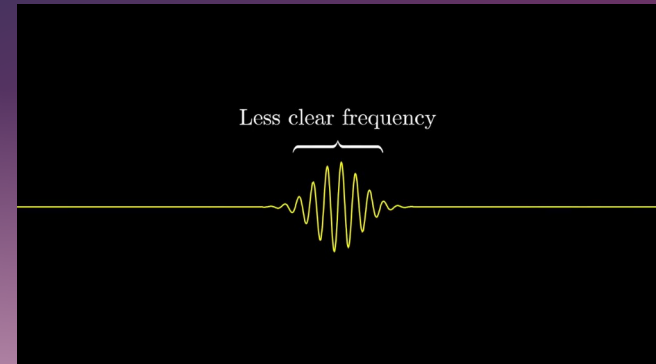
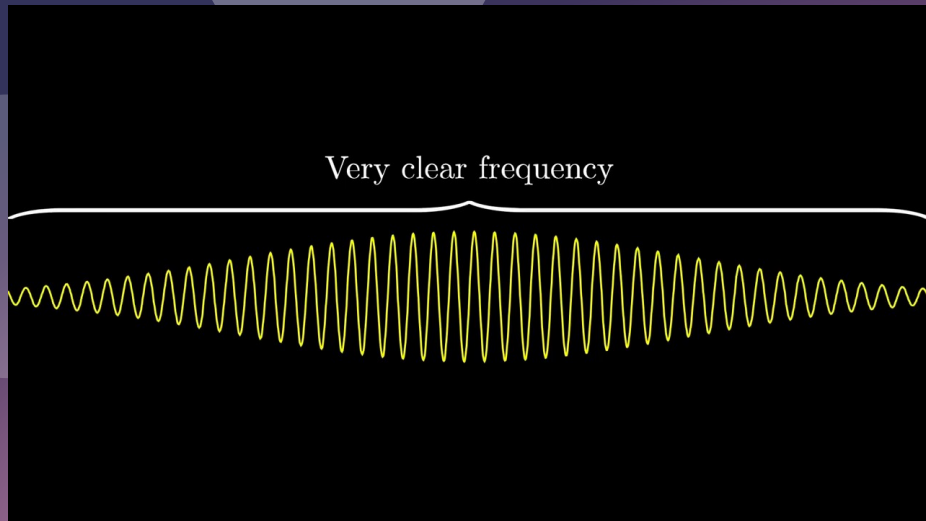
# Beispiele

- Schallwellen (Zeit vs. Frequenz)
- Doppler Radar (Entfernung vs. Geschwindigkeit)
- Quantenpartikel (Position vs. Impuls)

# Zeit vs. Frequenz

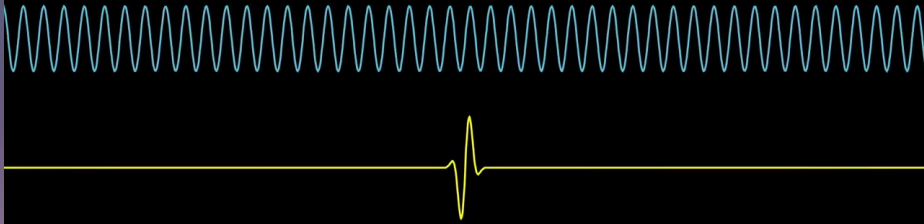


# Schallwellen

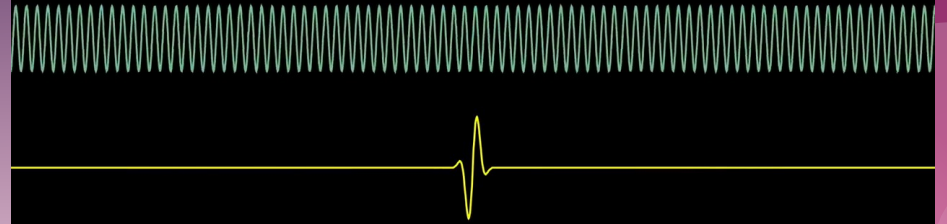


# Große Korrelation mit verschiedenen Frequenzen

Short signal correlates with wide range of frequencies



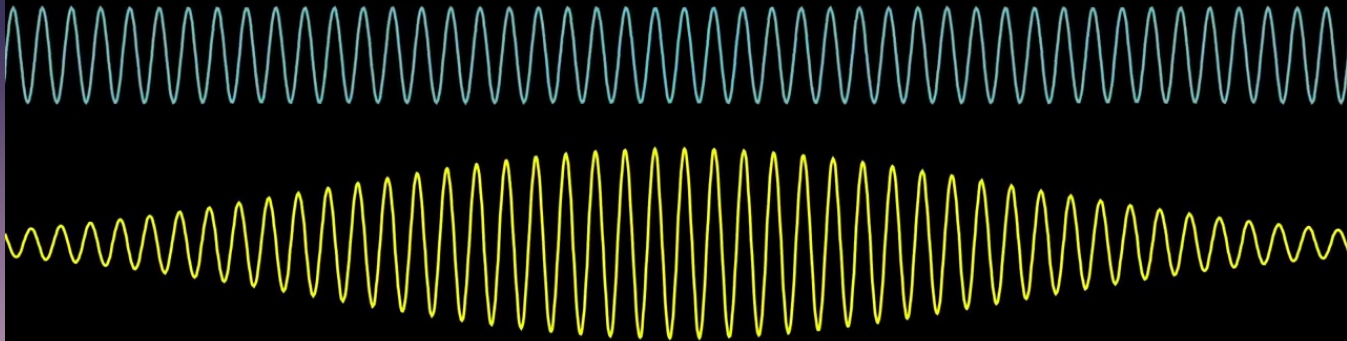
Short signal correlates with wide range of frequencies



# Kleine Korrelation mit verschiedenen Frequenzen

Short signal correlates with wide range of frequencies

Only wide signals correlate with a short range of frequencies

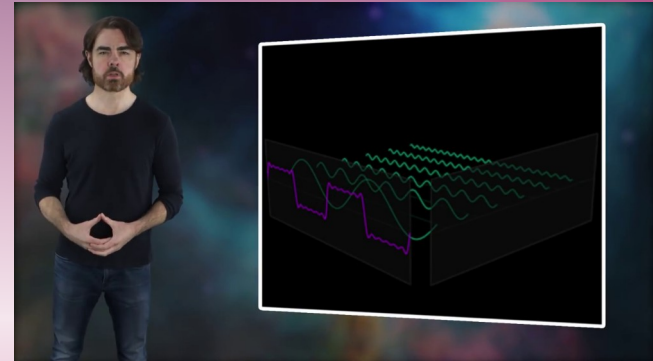


# Fourier Theorie



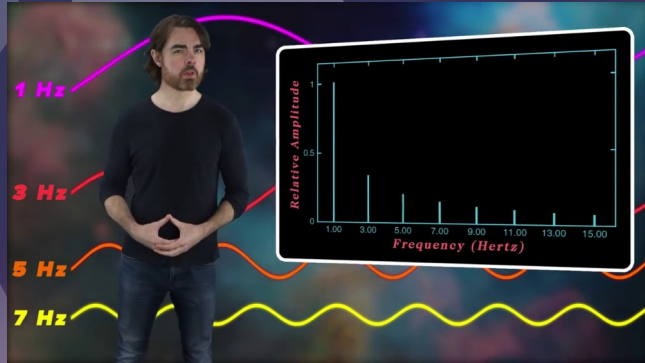
- Fourier Theorie

- Jean Baptiste Joseph Fourier
- 1822
- Jede komplexe Schallwelle kann in einfache Sinusfunktionen zerlegt werden



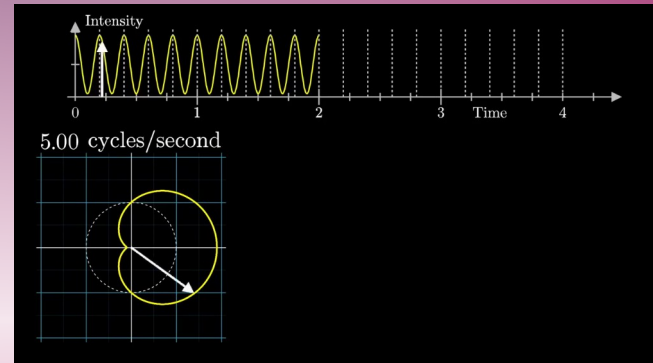
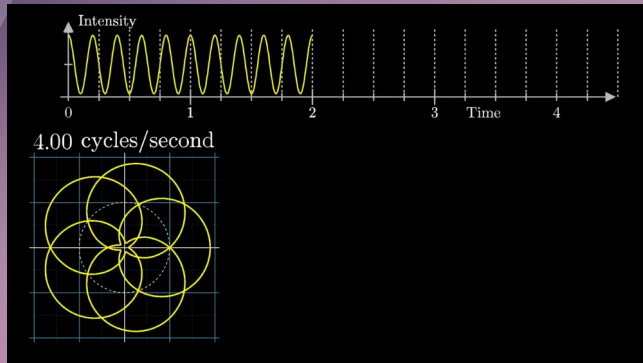
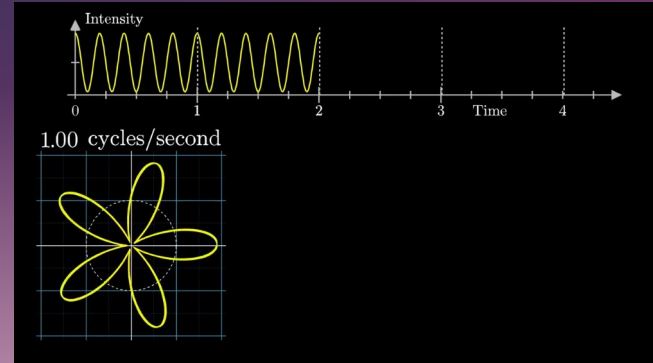
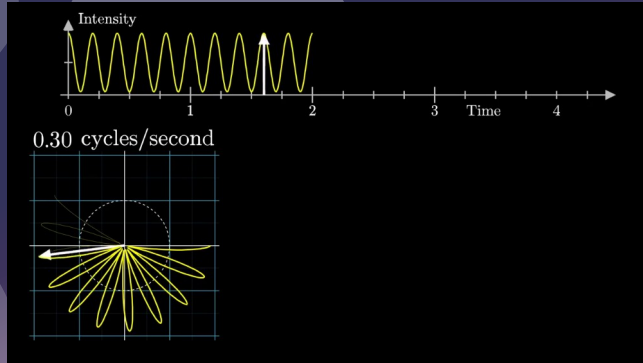


# Fourier Transformation

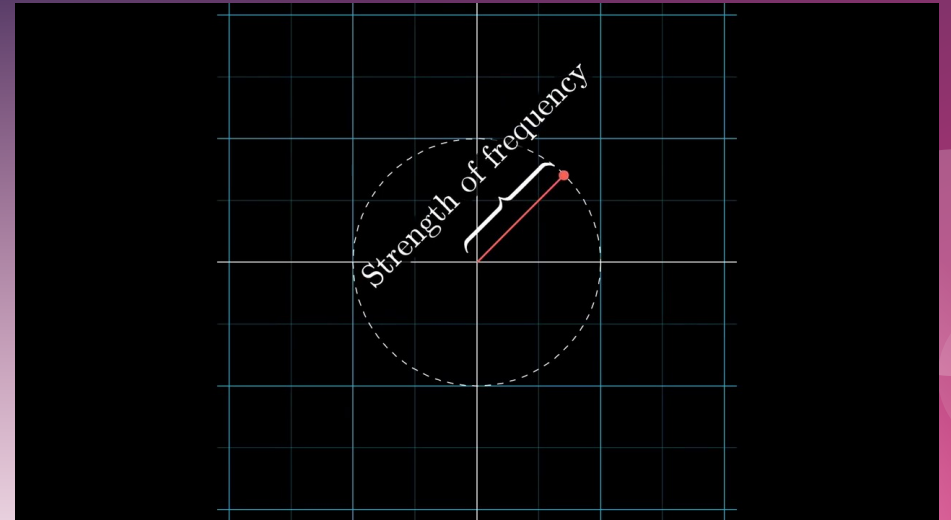
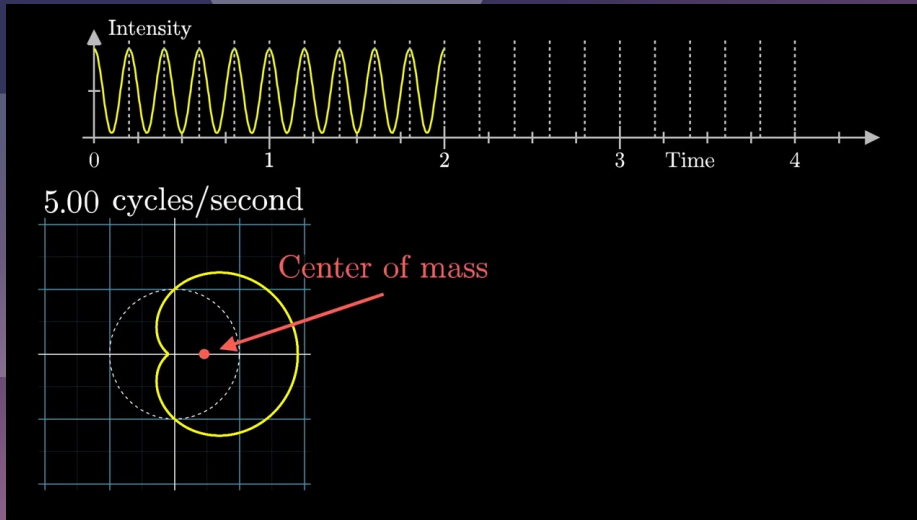


- Eine Schallwelle kann verschieden dargestellt werden
  - Intensität über Zeit
  - Frequenz mit relativer Stärke
    - Findet viel Anwendung in Computern beim Speichern und Manipulieren von Musik
  - Wechsel von einer Darstellung zur anderen ist eine Fourier Transformation

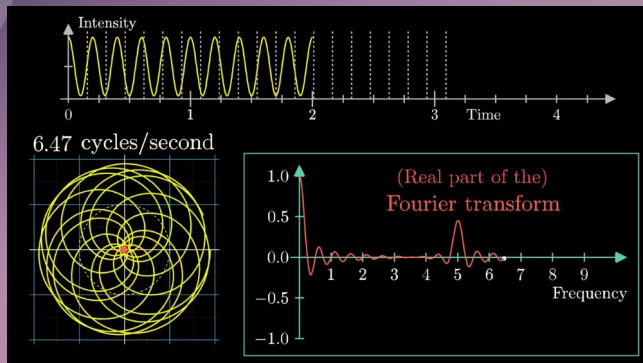
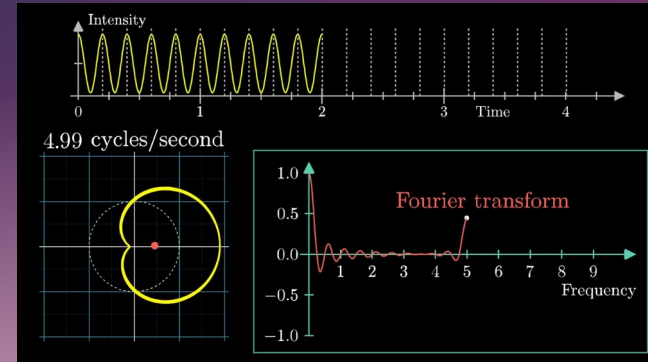
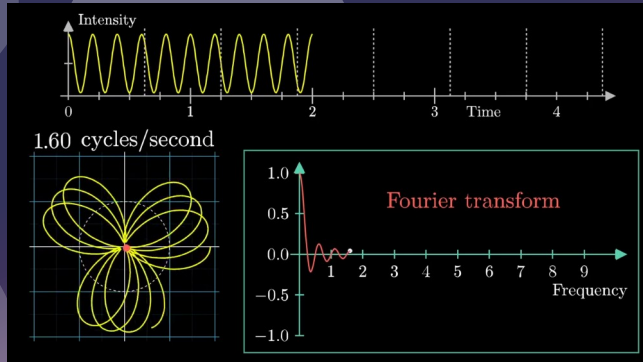
# Fourier Transformation



# Fourier Transformation

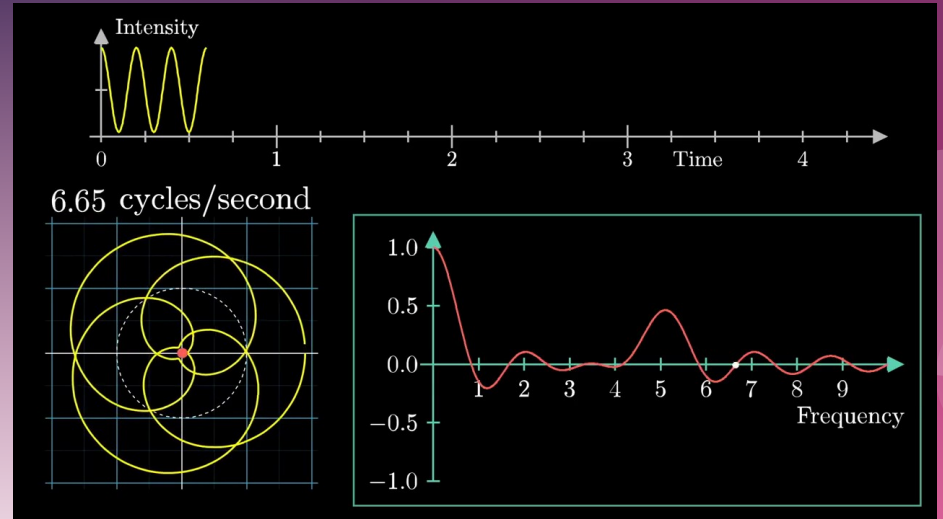
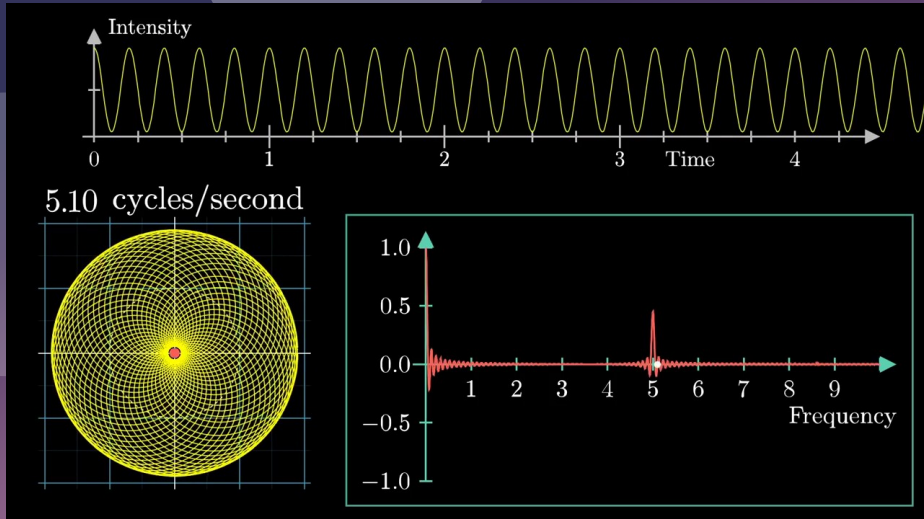


# Fourier Transformation

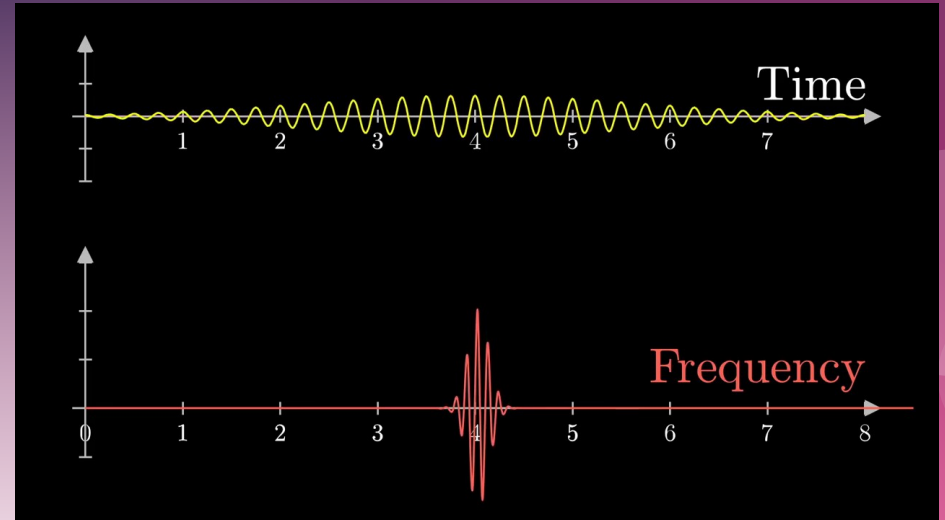
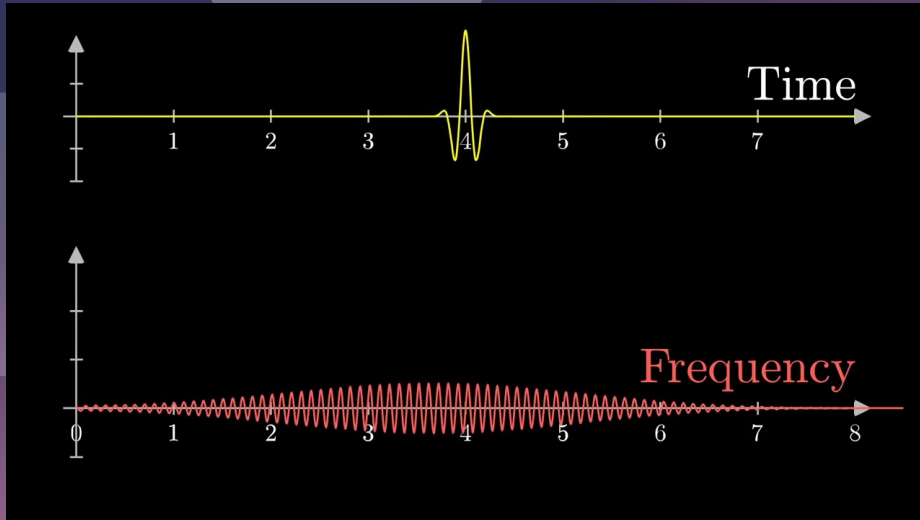


- Gezeichneter Graph ist der X-Wert des Schwerpunktes
- Hohe Amplitude = dominierende Frequenz
- Breite Amplitude = ähnliche Frequenzen korrelieren auch gut mit der Welle

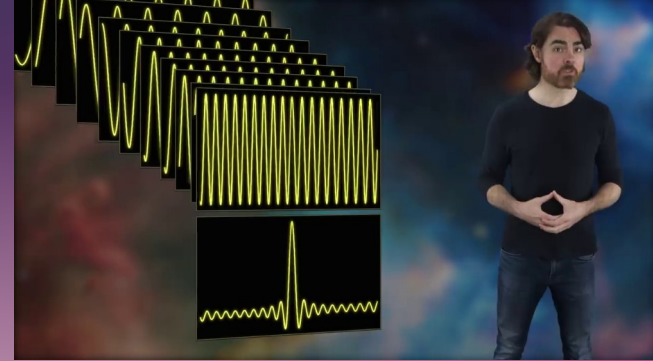
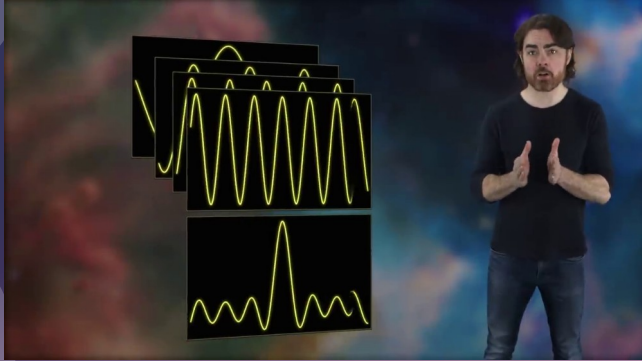
# Fourier Transformation



# Unschärferelation

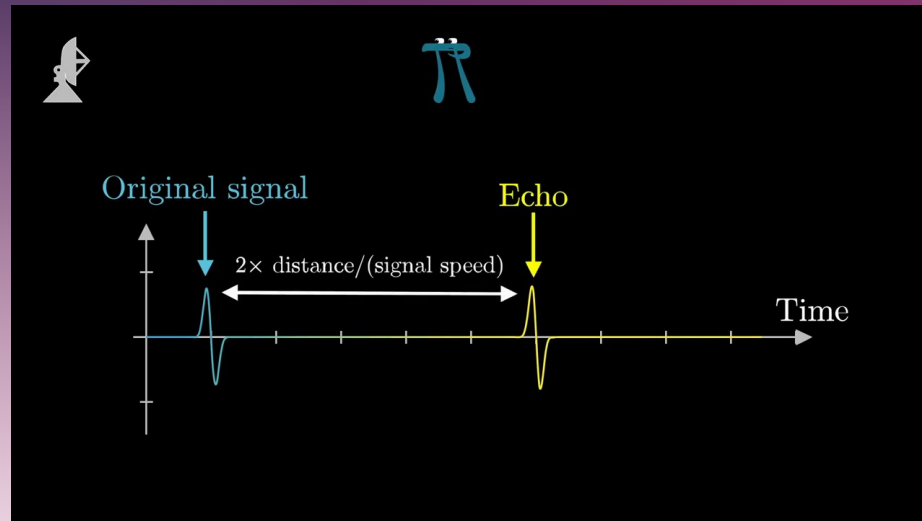
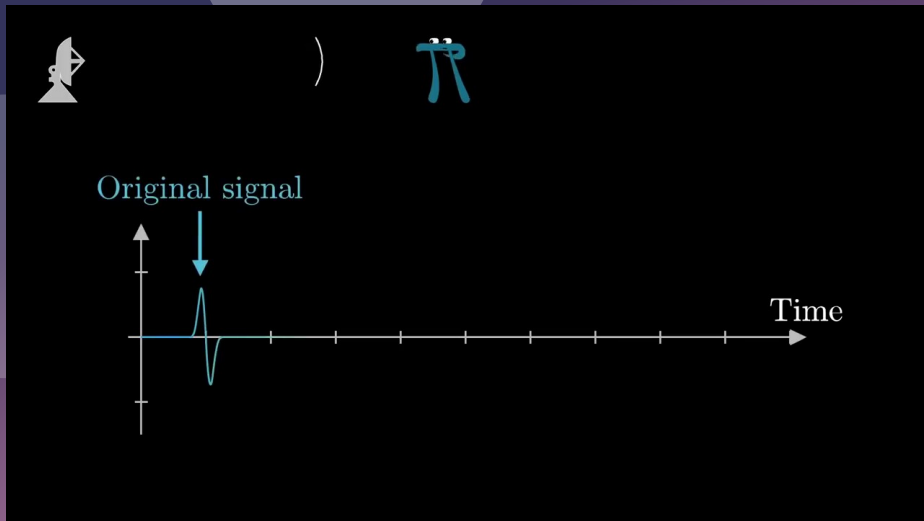


# Eine andere Darstellung



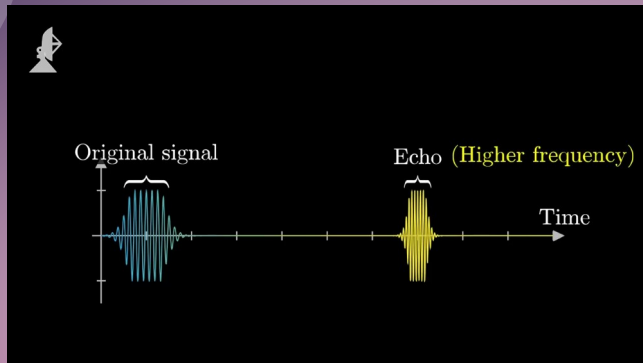
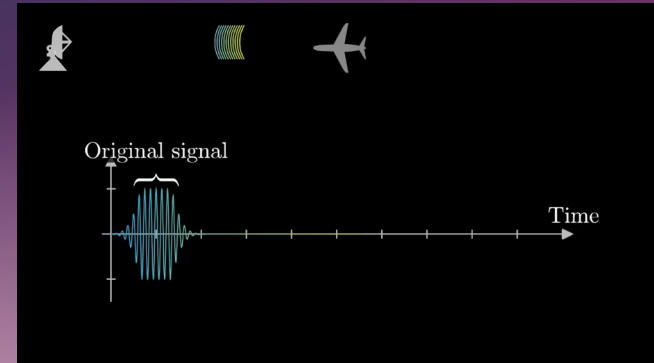
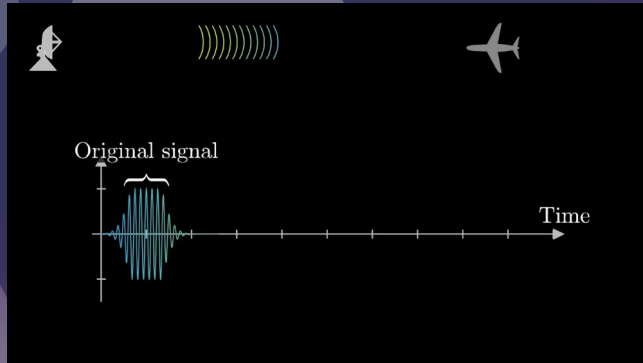
- Eine Welle mit perfekt definierter Frequenz hat eine unendliche Ausdehnung in der Zeit
- Um einen Ton zu erzeugen, der nur in einem Moment existiert, müssen unendlich viele andere Frequenzen überlagert werden
- Der kürzeste mögliche Ton hätte also alle existierenden Frequenzen

# Doppler Radar



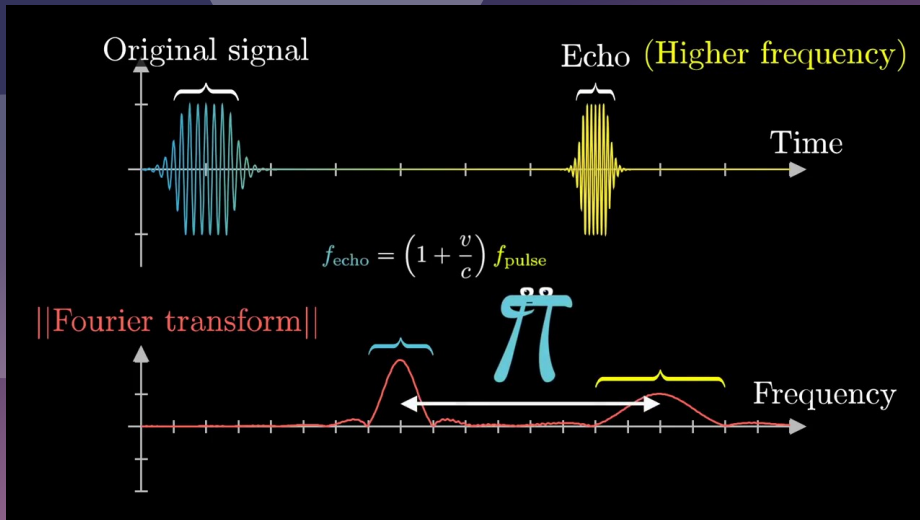


# Doppler Radar



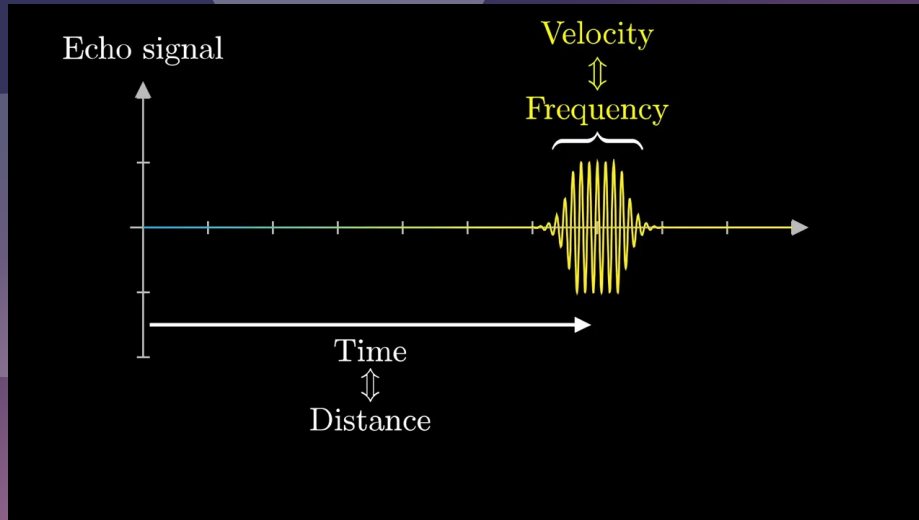
- Schallwelle wird durch den Dopplereffekt komprimiert

# Doppler Radar



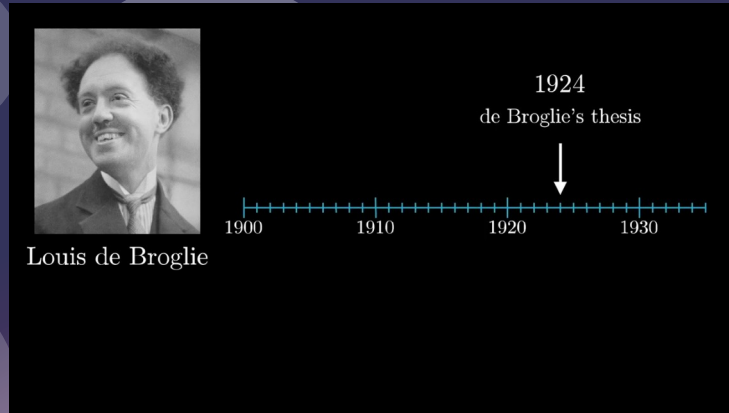
- Der Betrag der Veränderung der Frequenz gibt Aufschluss auf die Geschwindigkeit des Objekts

# Überleitung zur Quantenphysik

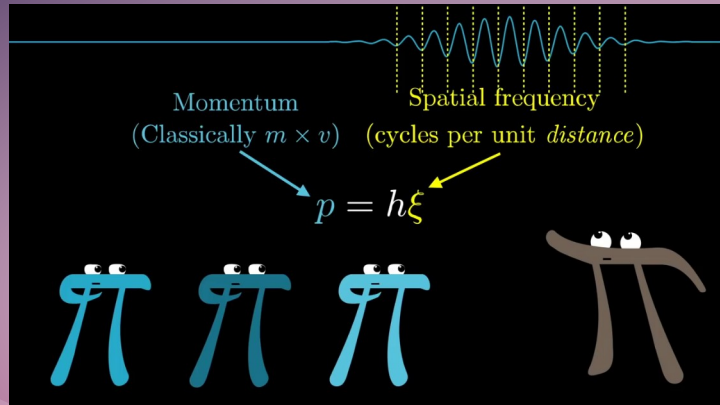


$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4 \cdot \pi}$$

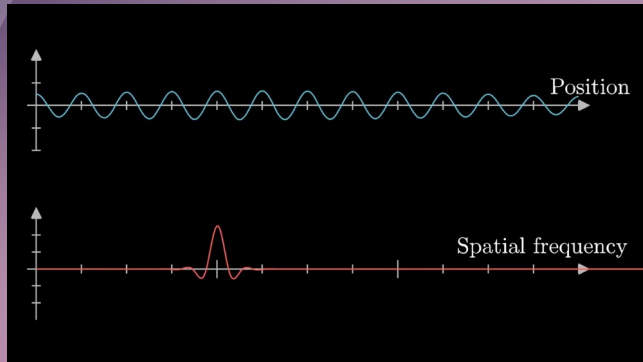
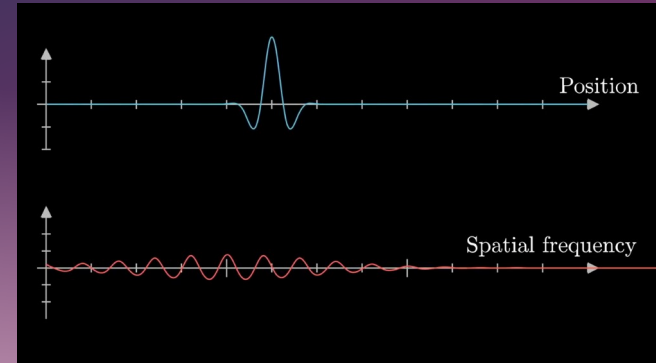
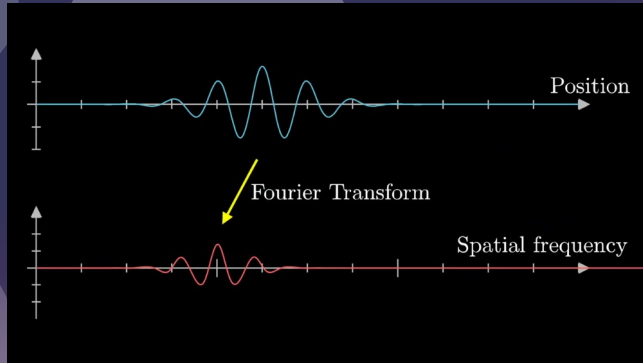
# Materie kann als Welle beschrieben werden



- Zahlreiche Experimente beweisen, dass Materie wellenartige Eigenschaften hat
- Der Impuls eines Teilchens ist proportional zu dessen Ortsfrequenz

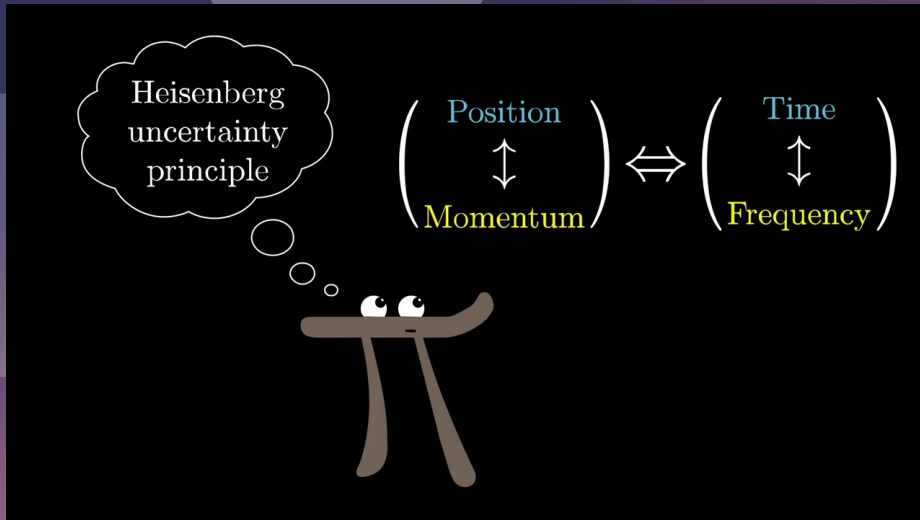


# Orts- und Impulsunschärfe



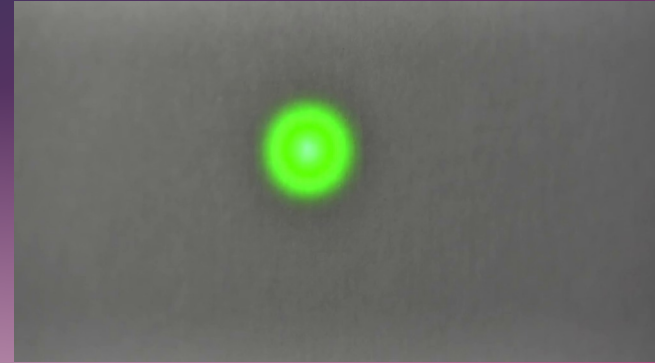
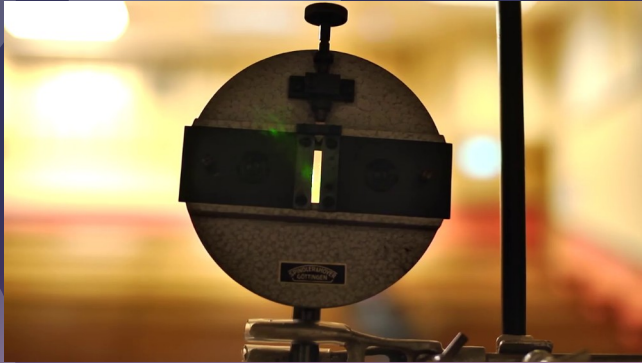
- Unschärfe der Position erzeugt die Schärfe des Impulses und vice versa
- Unschärfe stammt also nicht von imperfekten Messungen, sondern ist eine fundamentale Wahrheit des Universums

# Überraschende Analogie

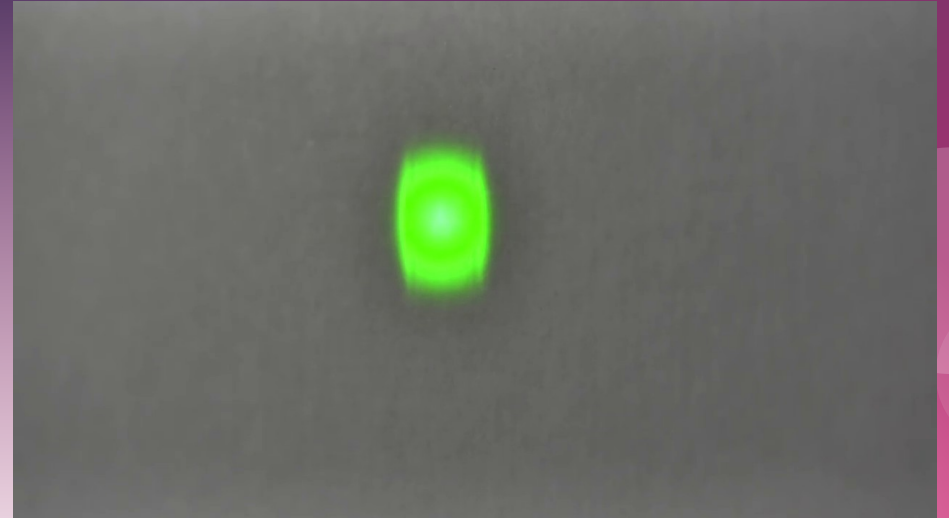


- Position und Impuls eines Teilchens verhalten sich zueinander gleich wie die Zeit und Frequenz einer Schallwelle

# Beispiel im echten Leben

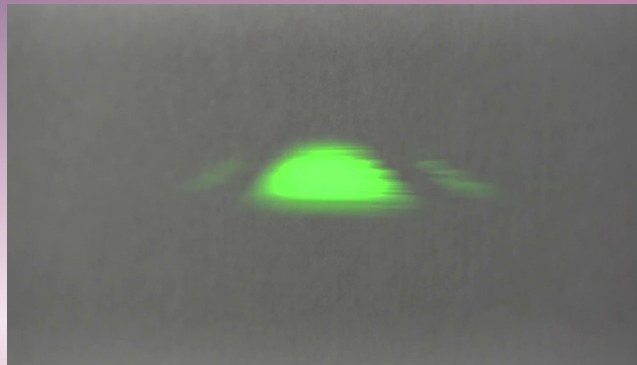
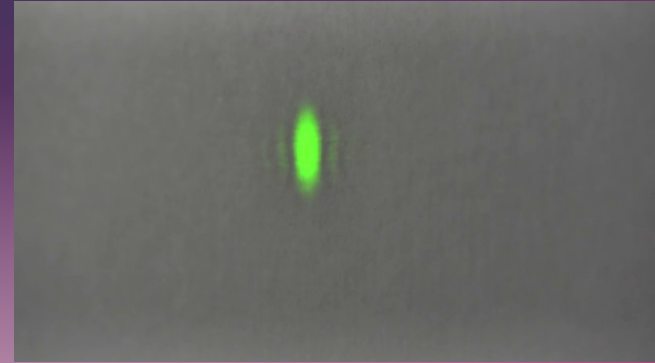
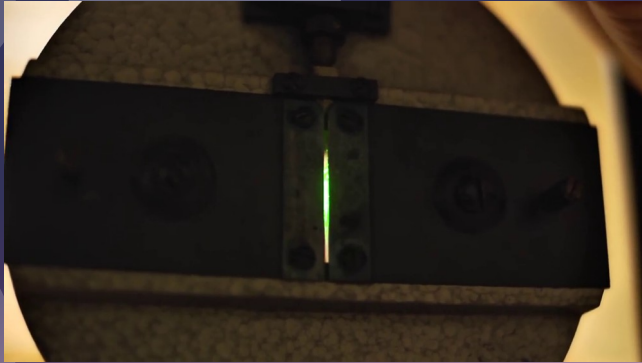


# Beispiel im echten Leben

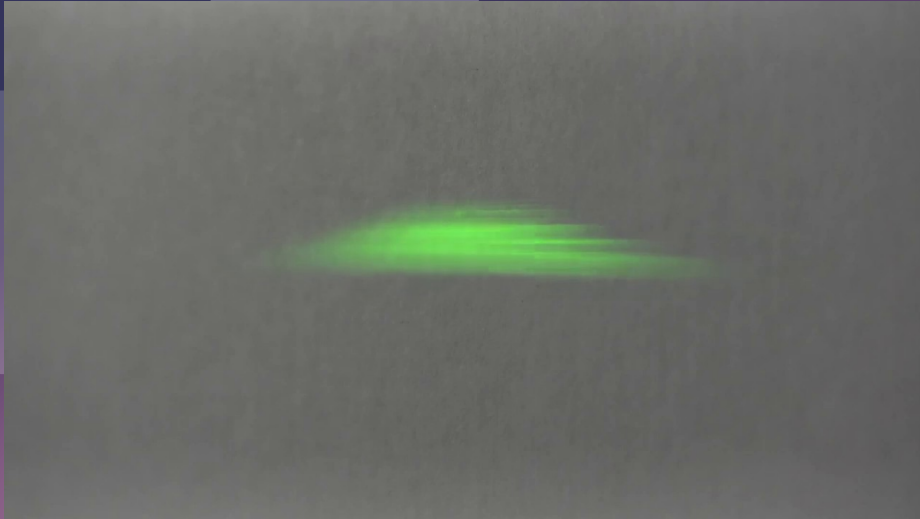




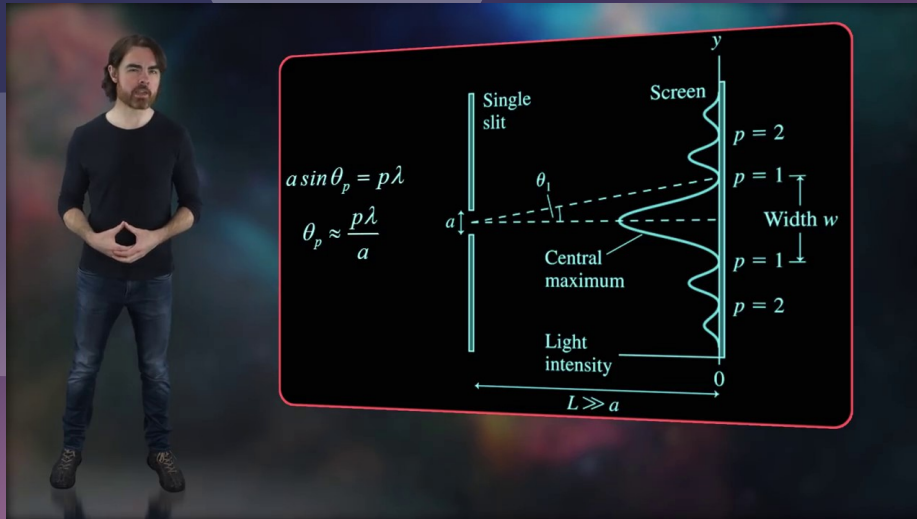
# Beispiel im echten Leben



# Beispiel im echten Leben



# Unschärferelation



$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4 \cdot \pi}$$

# Quellen

- [https://www.wikiwand.com/de/Heisenbergsche\\_Unsch%C3%A4rferelation#/Urspr%C3%BCngliche\\_Formulierung](https://www.wikiwand.com/de/Heisenbergsche_Unsch%C3%A4rferelation#/Urspr%C3%BCngliche_Formulierung)
- <https://www.wikiwand.com/de/Energie-Zeit-Unsch%C3%A4rferelation>
- [https://www.wikiwand.com/de/Werner\\_Heisenberg](https://www.wikiwand.com/de/Werner_Heisenberg)
- <https://www.youtube.com/watch?v=MBnnXbOM5S4>
- [https://www.youtube.com/watch?v=h\\_oykGyBPvw](https://www.youtube.com/watch?v=h_oykGyBPvw)
- <https://www.youtube.com/watch?v=pBekV7dXdfY>
- <https://www.youtube.com/watch?v=uZDhCW-PTRM>
- [https://www.wikiwand.com/en/Spatial\\_frequency#:~:text=In%20mathematics%2C%20physics%2C%20and%20engineering,repeat%20per%20unit%20of%20distance](https://www.wikiwand.com/en/Spatial_frequency#:~:text=In%20mathematics%2C%20physics%2C%20and%20engineering,repeat%20per%20unit%20of%20distance)
- <https://www.youtube.com/watch?v=izqaWyZsEtY>
- <https://www.wikiwand.com/de/Fourier-Transformation>
- <https://www.youtube.com/watch?v=a8FTr2qMutA>
- [https://www.google.de/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.steffen-grimm.de%2Fzufallundseele%2Fquantenphysik.htm&psig=AOvVaw28UIMywaTPfP6no0xw7-7f&ust=1636068834367000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCKi84vqt\\_fmCFQAAAAAdAAAAABAb](https://www.google.de/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.steffen-grimm.de%2Fzufallundseele%2Fquantenphysik.htm&psig=AOvVaw28UIMywaTPfP6no0xw7-7f&ust=1636068834367000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCKi84vqt_fmCFQAAAAAdAAAAABAb)