

# Expansion accélérée de l'univers expliquée par une bizarrerie de la mécanique quantique?

Denis Gilbert, physicien

[www.denisgilbert.com](http://www.denisgilbert.com)

Club d'astronomie de Rimouski

CÉGEP de Rimouski

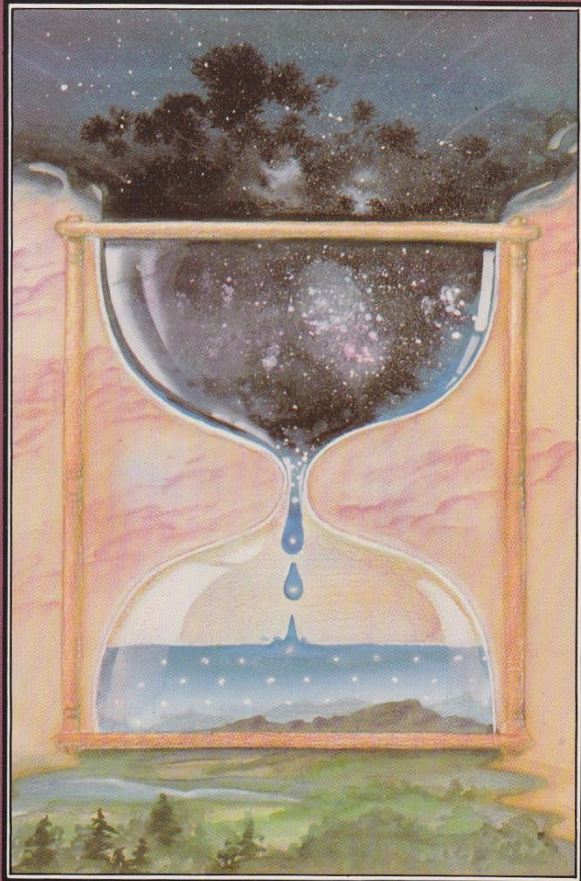
2017-06-09

Publié  
en 1981

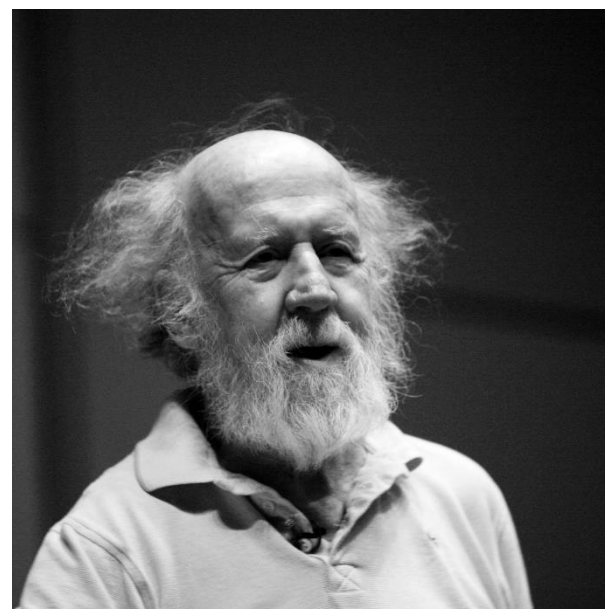
Hubert Reeves

# PATIENCE DANS L'AZUR

L'ÉVOLUTION COSMIQUE



QUÉBEC SCIENCE  
ÉDITEUR



## Hubert Reeves

- Astrophysicien
- Spécialisé en nucléosynthèse
- Vulgarisateur scientifique extraordinaire

# 1917

- Albert Einstein ajoute une « constante cosmologique » à ses équations de la relativité générale de 1915.

# 1922

- Alexandre Friedmann introduit pour la première fois l'idée d'un univers en expansion, à partir des équations de la relativité générale d'Einstein.

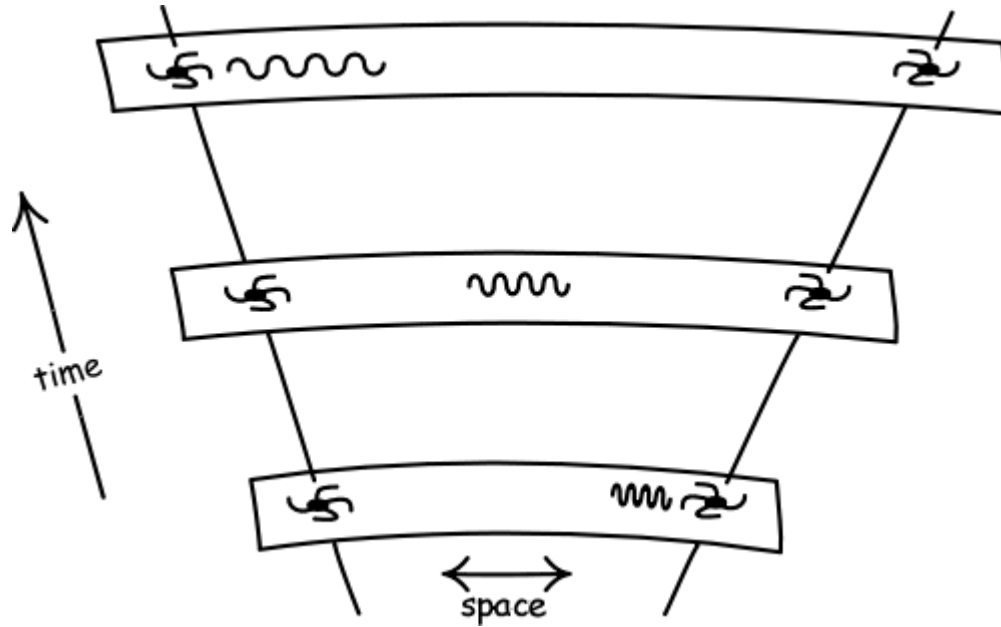
# 1927

- Georges Lemaître propose l'expansion de l'Univers à partir des équations de la relativité générale.
- Titre de son article: *Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant.*

# 1929

- Edwin Hubble observe l'expansion de l'Univers
- Décalage Doppler vers le rouge indique que les objets célestes extragalactiques s'éloignent de la Terre.
- Plus les galaxies sont éloignées, plus leur vitesse d'éloignement augmente (la vitesse est mesurée par le décalage Doppler)
- Effet Doppler: exemple d'une voiture

# Décalage Doppler vers le rouge

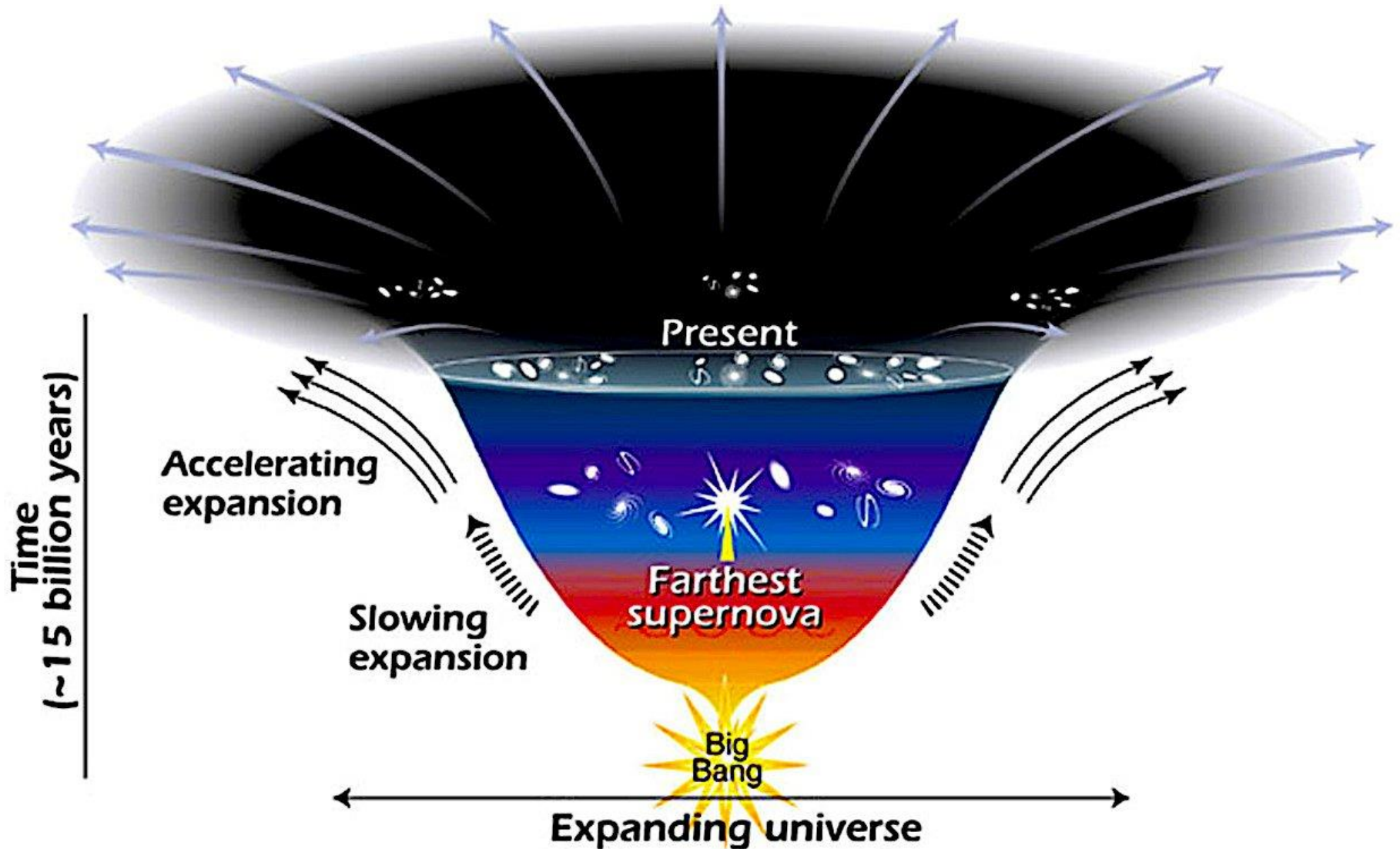


# 1998

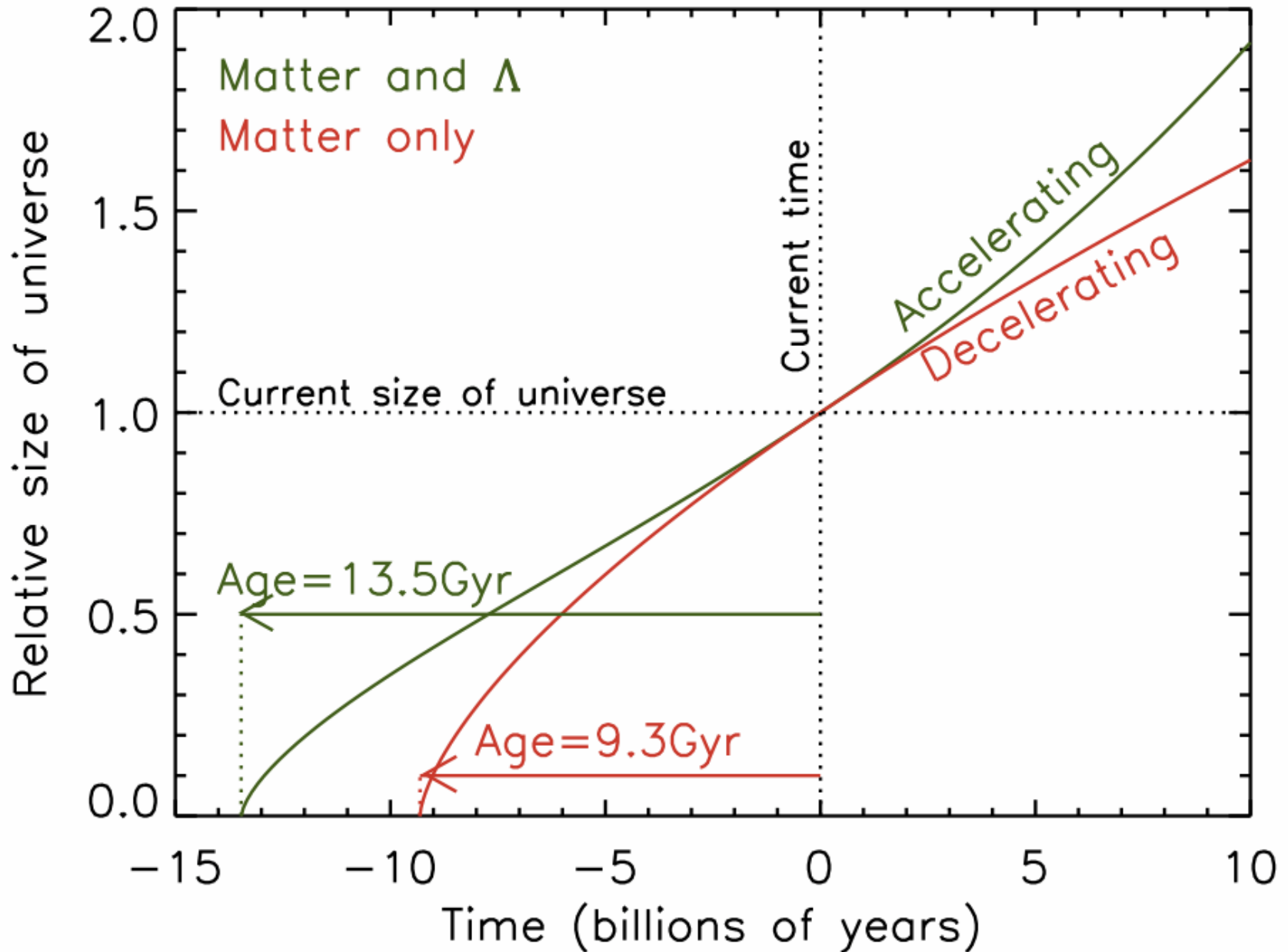
- Année où l'on découvre l'accélération de l'expansion de l'univers.
- En termes clairs, on a découvert que la vitesse d'expansion de l'Univers augmente au fil du temps...

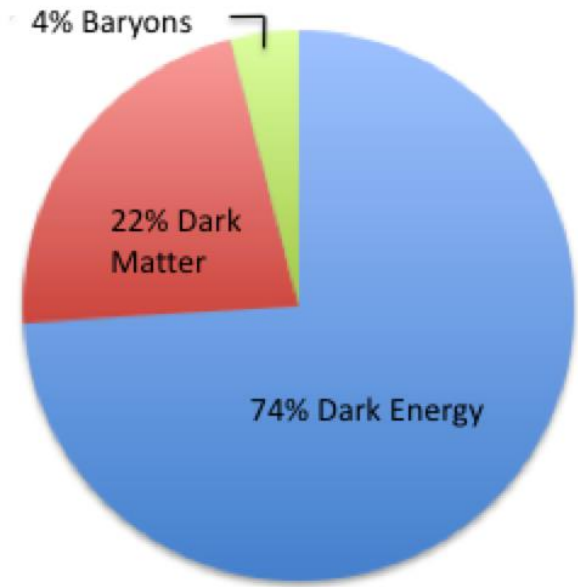
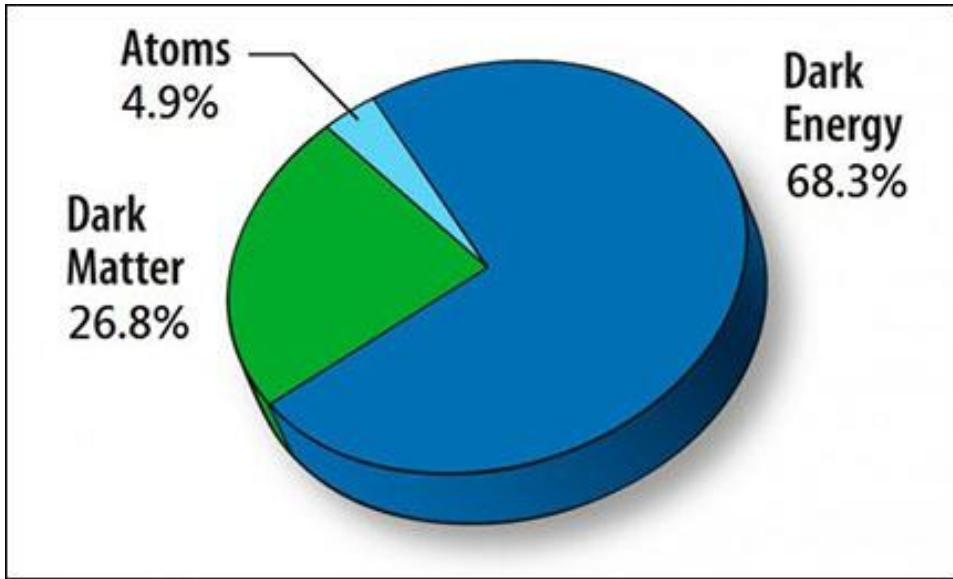


# Accélération de l'expansion de l'Univers



# Histoire de l'expansion de l'univers





# Équation de Schrödinger

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$



- Aux échelles microscopiques, les “particules” ont un comportement ondulatoire (dualité onde-particule)
- $i = \sqrt{-1}$
- $h/2\pi$  est la constante de Planck
- $\Psi$  est la fonction d’onde (reliée à la probabilité de présence)
- $\hat{H}$  est l’opérateur Hamiltonien (énergie totale)
- $\mathbf{r}$  est la position dans l’espace (x, y, z)
- t est le temps

# Citations au sujet de la mécanique quantique

- *I do not like [quantum mechanics], and I am sorry I ever had anything to do with it. Erwin Schrödinger*
- *If [quantum theory] is correct, it signifies the end of physics as a science. Albert Einstein*
- *Everything we call real is made of things that cannot be regarded as real. Niels Bohr*
- *If you are not completely confused by quantum mechanics, you do not understand it. John Wheeler*
- *It is safe to say that nobody understands quantum mechanics. Richard Feynman*
- *Quantum mechanics makes absolutely no sense. Roger Penrose*

Principe d'incertitude:  $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$



$p = \text{masse} \cdot \text{vitesse}$

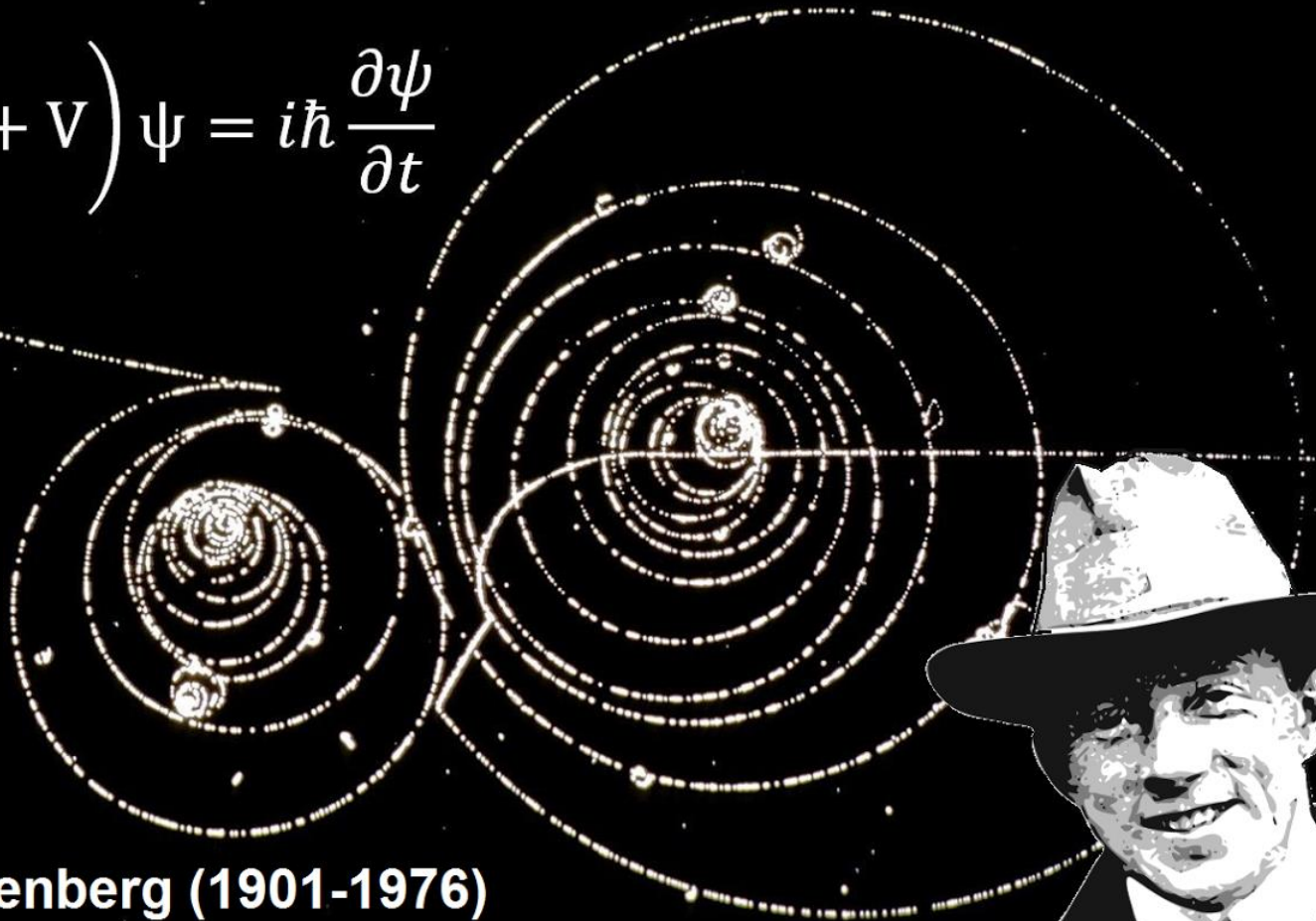
$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

est la constante de Planck

Nous pouvons connaître avec précision **la position OU la vitesse** d'une "particule", mais pas les deux en même temps.

$$\left( \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right) \psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

$$\Delta x_i \Delta p_i \geq \frac{\hbar}{2}$$



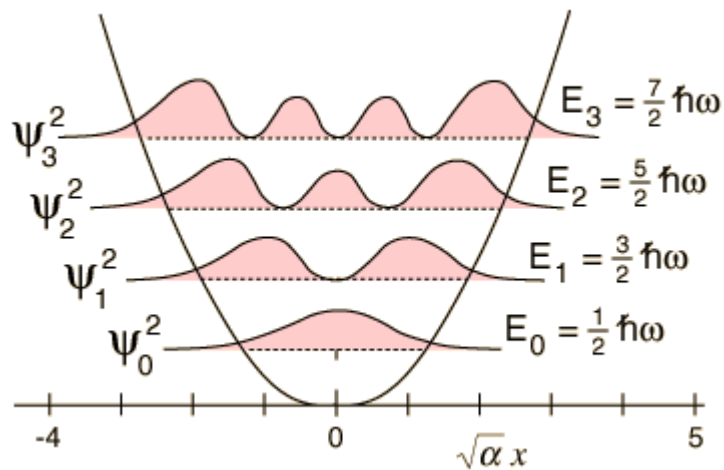
**Werner Heisenberg (1901-1976)**

**Winner of the 1932 Nobel Prize in Physics**

# Théorie des champs quantique

- Selon cette théorie, les particules sont des états d'excitation de champs sous-jacents.
- Les champs quantiques occupent tout l'espace, y compris le « vide ».





Le **vide** est de l'espace sans aucune particule, mais les **champs** physiques y sont omniprésents.

Les particules sont des excitations de champs

En l'absence de particule, la plus faible énergie n'est pas égale à zéro.

Now in the **quantum** harmonic oscillator the energies a particle can have in such potential field are **quantized**. So, if you solve the Schrodinger Equation and find the wavefunctions and the energy, you find out that the particle can only have energies equivalent to:

$$E_n = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega \text{ (here } \omega \text{ is the frequency of the oscillator).}$$

More importantly is what happens when  $n=0$ , i.e. the lowest possible energy.

$$E_0 \neq 0$$

rather

$$E_0 = \frac{1}{2}\hbar\omega$$

Hence the particle lowest possible energy can never be zero but has a definitive value.

That is **the Zero Point Energy**.

# Le vide quantique

- [http://www.dailymotion.com/video/x3l83x0\\_interview-qu-est-ce-que-le-vide-quantique\\_school](http://www.dailymotion.com/video/x3l83x0_interview-qu-est-ce-que-le-vide-quantique_school)
- Vidéo de Claude Aslangul, physicien, enregistré le 1er juillet 2016.

# Problème de la constante cosmologique

- En utilisant la théorie des champs quantiques, nous ne pouvons pas expliquer pourquoi la valeur observée de la constante cosmologique est si petite.
- Des calculs faits à partir de la mécanique quantique prédisent une densité d'énergie du vide quantique de l'ordre de  $\rho_{\Lambda} \sim 10^{112} \text{ erg/cm}^3$ . Ceci est **120 ordres de grandeur plus grand** que la valeur observée de  $\rho_{\Lambda} \sim 10^{-8} \text{ erg/cm}^3$



# Comment la gigantesque énergie du vide **quantique gravite** et génère la lente accélération de l'expansion de l'Univers

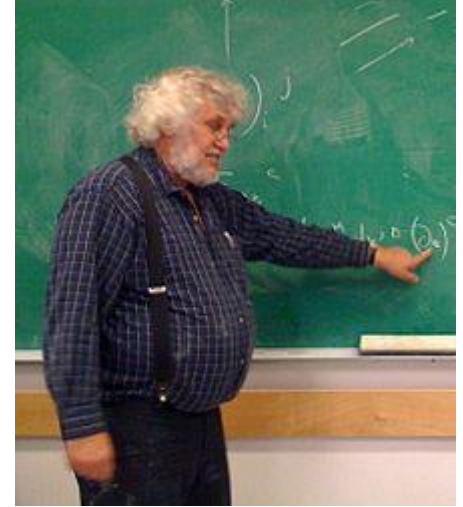
- How the huge energy of quantum vacuum gravitates to drive the slow accelerating expansion of the Universe
- Auteurs: Qingdi Wang, Zhen Zhu, Bill Unruh
- Physical Review D, **95**, 103504

# Principe d'équivalence

- Le principe d'équivalence de la relativité générale d'Einstein requière que chaque forme d'énergie gravite de la même manière.

# William G. (Bill) Unruh

- Né à Winnipeg en 1945
- L'effet Unruh, publié en 1976, prédit que du point de vue d'un observateur qui accélère, le vide contient un gas de particules dont la température est proportionnelle à l'accélération.
- Son superviseur de thèse doctoral était John Wheeler, le même que pour le grand physicien Richard Feynmann



# Résultats clés

- La densité d'énergie du vide quantique fluctue constamment et est extrêmement inhomogène.
- En chaque point de l'espace, l'espace-temps engendré par le vide oscille alternativement entre expansion et contraction et les phases d'oscillation en des points voisins sont différentes.
- L'expansion excède légèrement la contraction à chaque oscillation, de sorte que l'expansion de l'Univers s'accélère.



# Avantages de la nouvelle théorie

- Repose entièrement sur les 2 piliers de la physique moderne, soit la Mécanique quantique et la Relativité Générale.
- Nul besoin d'invoquer une "constante" cosmologique
- Nul besoin de chercher de l'énergie noire d'autre nature que celle associée au vide quantique.

# Entrevue radio (en anglais) avec Jaymie Matthews, astrophysicien de UBC

- <http://www.cbc.ca/player/play/945228867780/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ynRVnlh6wq4>



# Sabine Hossenfelder

- D'abord les fleurs...
- ... et ensuite le pot de fleurs!
- Elle nous demande d'attendre environ 10 ans avant de juger l'article de Wang et collaborateurs.
- <http://backreaction.blogspot.ca/2017/05/does-parametric-resonance-solve.html>
- <http://www.sabinehossenfelder.com/>

# Hubert Reeves - Patience dans l'azur, 1981

- La critique des gens du métier élimine régulièrement une bonne partie des théories nouvelles.
- Il est toujours prudent d'attendre quelque temps avant d'adopter une thèse audacieuse.
- La thèse de Wang, Zhu et Unruh tiendra-t-elle le coup face aux critiques?
- Affaire à suivre...