

Universite Paris XIII Villetaneuse

Seminaire Physique 18 Juin 2012

Un Réseau Accordéon Bidimensionnel Quatre-axe pour atomes ultra-froids neutres

John(ny) H. Huckans

Bloomsburg University of Pennsylvania, Bloomsburg, PA 17815 USA



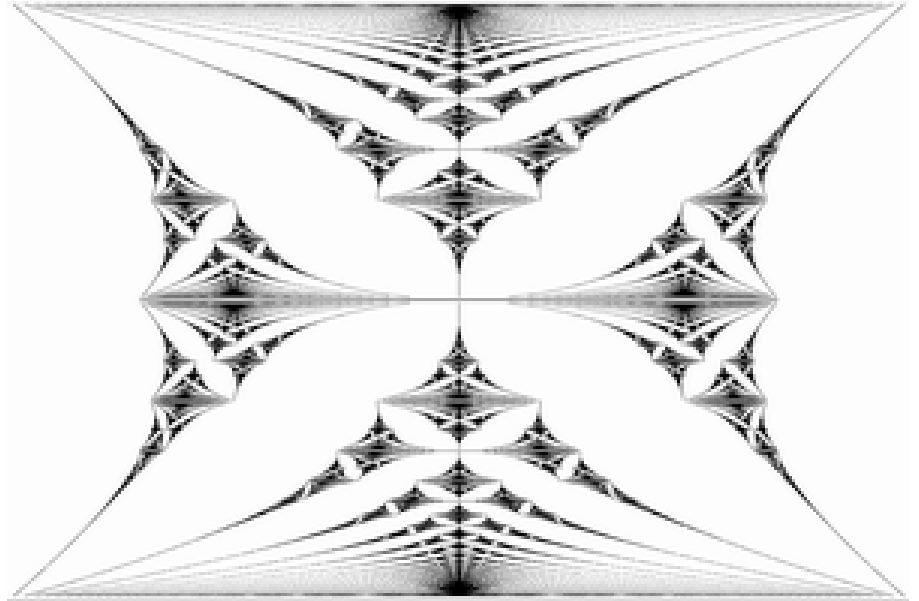
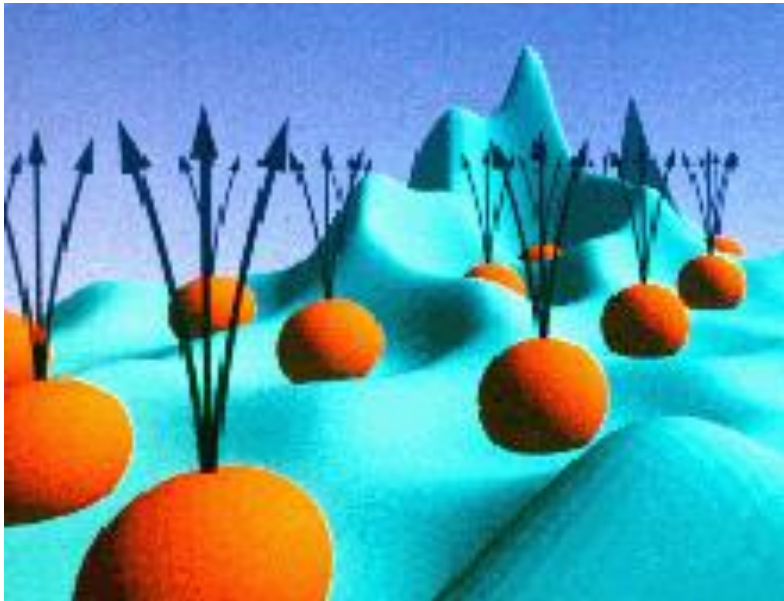
en liaison avec:

National Institute of Standards and Technology
Gaithersburg, MD 20899 USA



La motivation...

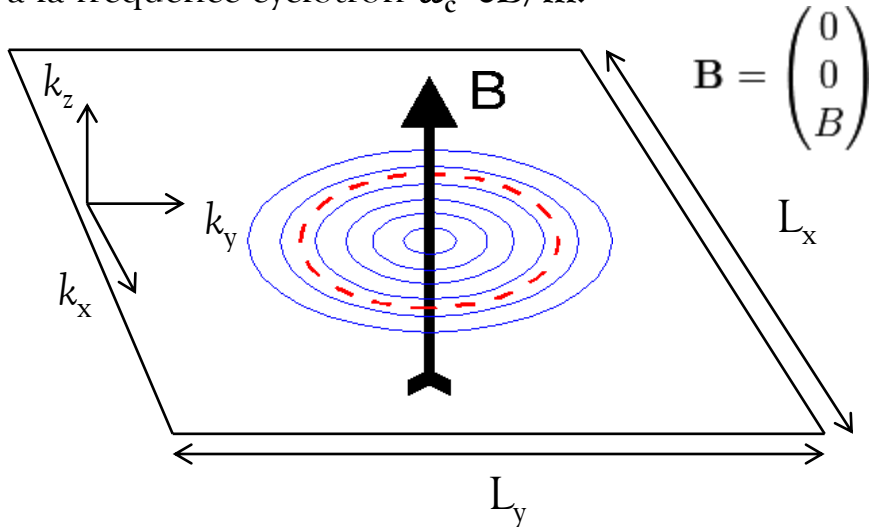
Effet Hall quantique fractionnaire et le Papillon Hofstadter



Landau Quantification



Considérons un système 2D d'électrons (2DEG) dans un champ magnétique perpendiculaire. Les trajectoires des électrons sera un ensemble de cercles autour des lignes de champ. Il peut facilement être montré que les électrons effectuer ces orbites à la fréquence cyclotron $\omega_c = eB/m$.



Supposer que les électrons sont confinés dans une zone $A = L_x L_y$ dans le plan xy . Depuis le champ magnétique est dans la direction z , il peut être dérivé d'un potentiel vecteur

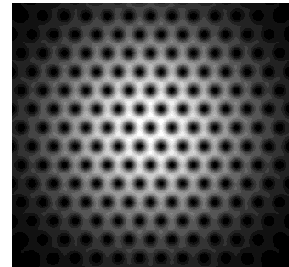
$$\hat{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} 0 \\ B\hat{x} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

dans lequel

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}.$$

Le Hamiltonien du système est

$$\hat{H} = \frac{1}{2m} (\hat{\mathbf{p}} - q\hat{\mathbf{A}})^2.$$



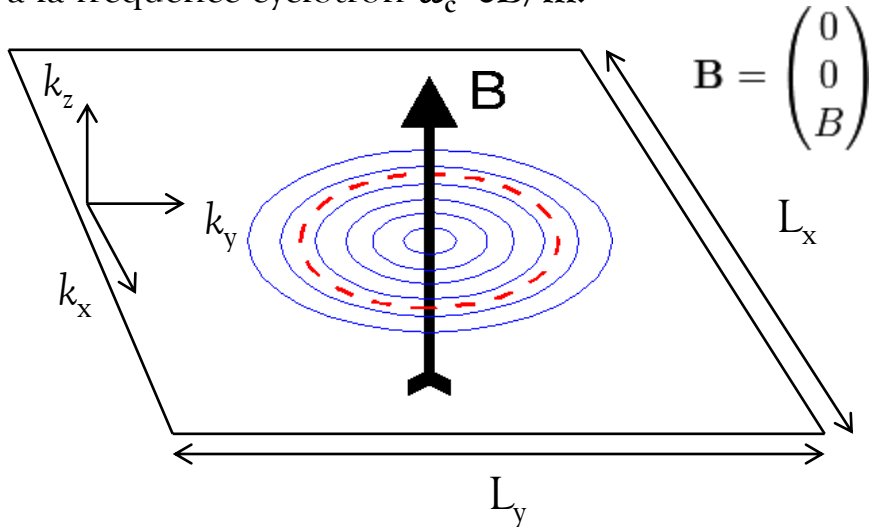
Dans lequel $\hat{\mathbf{p}}$ est l'opérateur impulsion canonique. Dans la jauge choisie, l'Hamiltonien est écrit

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \frac{\hat{p}_y^2}{2m} - \frac{qB}{m} \hat{x}\hat{p}_y + \frac{q^2 B^2}{2m} \hat{x}^2,$$

Landau Quantification



Considérons un système 2D d'électrons (2DEG) dans un champ magnétique perpendiculaire. Les trajectoires des électrons sera un ensemble de cercles autour des lignes de champ. Il peut facilement être montré que les électrons effectuer ces orbites à la fréquence cyclotron $\omega_c = eB/m$.



$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{pmatrix}$$

Supposer que les électrons sont confinés dans une zone $A = L_x L_y$ dans le plan xy . Depuis le champ magnétique est dans la direction z , il peut être dérivé d'un potentiel vecteur

$$\hat{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} 0 \\ B\hat{x} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

dans lequel

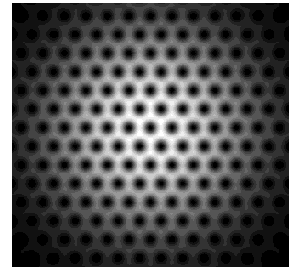
$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}.$$

L'opérateur \hat{p}_y commute avec cet hamiltonien puisque l'opérateur \hat{y} n'est pas présent. Donc, nous pouvons remplacer \hat{p}_y par sa valeur propre $\hbar k_y$. Nous pouvons également remplacer $\omega_c = qB/m$, ce qui donne

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega_c^2 \left(\hat{x} - \frac{\hbar k_y}{m\omega_c} \right)^2.$$

C'est exactement l'Hamiltonien de l'oscillateur harmonique quantique, à l'exception déplacé dans l'espace de coordonnées par

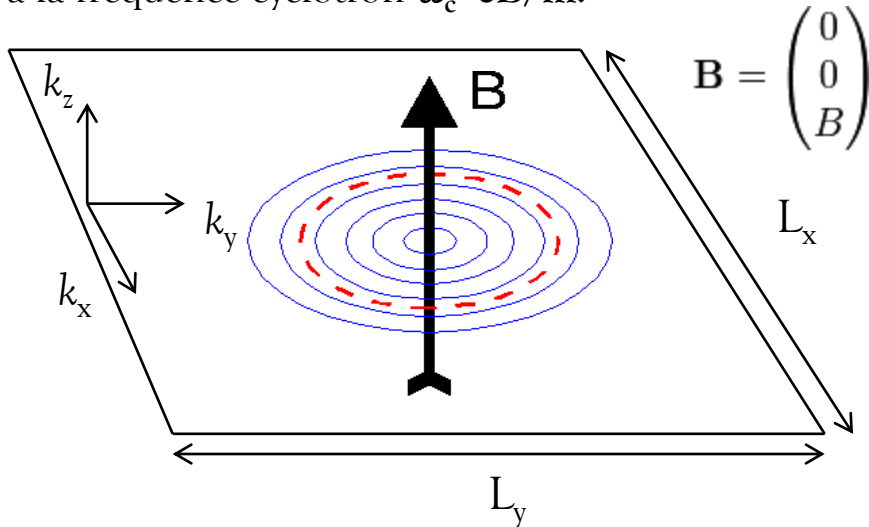
$$x_0 = \frac{\hbar k_y}{m\omega_c}$$



Landau Quantification



Considérons un système 2D d'électrons (2DEG) dans un champ magnétique perpendiculaire. Les trajectoires des électrons sera un ensemble de cercles autour des lignes de champ. Il peut facilement être montré que les électrons effectuer ces orbites à la fréquence cyclotron $\omega_c = eB/m$.



Supposer que les électrons sont confinés dans une zone $A = L_x L_y$ dans le plan xy . Depuis le champ magnétique est dans la direction z , il peut être dérivé d'un potentiel vecteur

$$\hat{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} 0 \\ B\hat{x} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

dans lequel

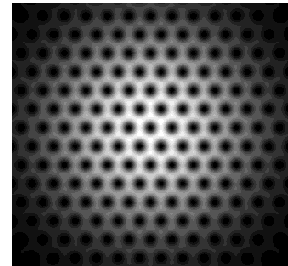
$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}.$$

Pour trouver les énergies, note que la traduction du potentiel oscillateur harmonique le long x ne change pas les énergies. Les énergies du système sont ceux de l'oscillateur harmonique

$$E_n = \hbar\omega_c \left(n + \frac{1}{2} \right), \quad n \geq 0.$$

L'énergie ne dépend pas de la nombre quantique k_y il y aura donc dégénérescences. Parce que \hat{p}_y commute avec l'Hamiltonien, les facteurs fonction d'onde en un produit d'un état propre impulsion dans la direction y et un oscillateur harmonique $|\phi_n\rangle$ dans la direction x décalée d'une quantité x_0 .

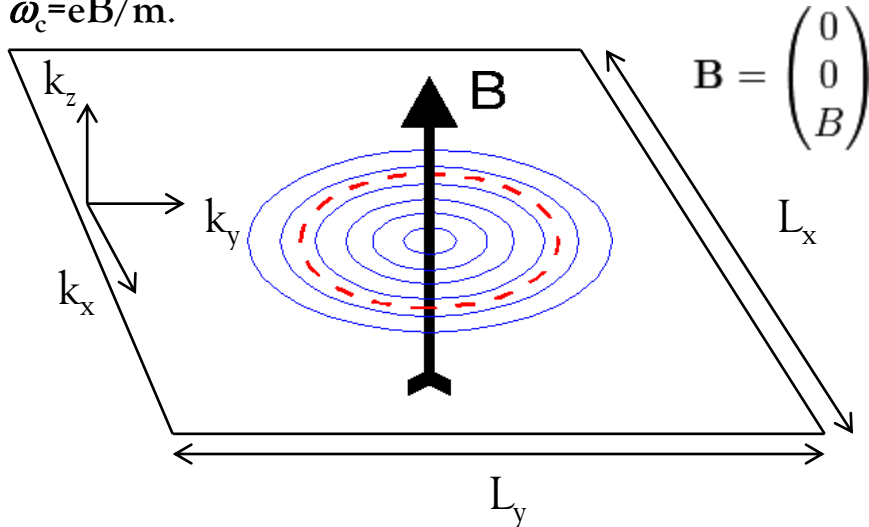
$$\Psi(x, y) = e^{ik_y y} \phi_n(x - x_0).$$



Landau Quantization



Consider a 2D system of electrons (2DEG) in a perpendicular magnetic field. The electron trajectories will be a set of circles around the field lines. It can easily be shown that electrons perform these orbits at the cyclotron frequency $\omega_c = eB/m$.



Assume that the electrons are confined to an area $A = L_x L_y$ in the x-y plane. Since the magnetic field is in the z direction, it can be derived from a vector potential

$$\hat{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} 0 \\ B\hat{x} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

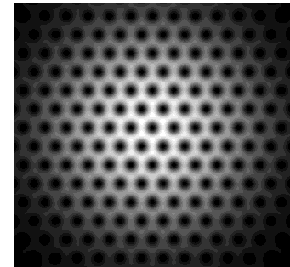
where

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}.$$

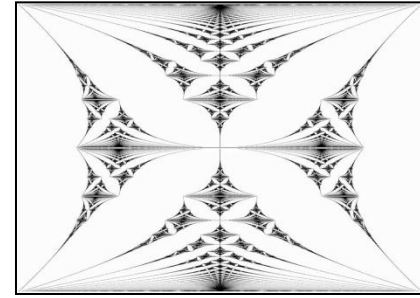
Each set of wave functions with the same principal quantum number n is called a Landau level. Each Landau level is degenerate due to the second quantum number k_y . If periodic boundary conditions in y are assumed, k_y can take the values $k_y = \frac{2\pi N}{L_y}$ where N is an integer. The allowed values of N are further restricted by the condition that the center of the oscillator must reside within the system. This gives us the following range for N :

$$0 \leq N < \frac{m\omega_c L_x L_y}{2\pi\hbar}.$$

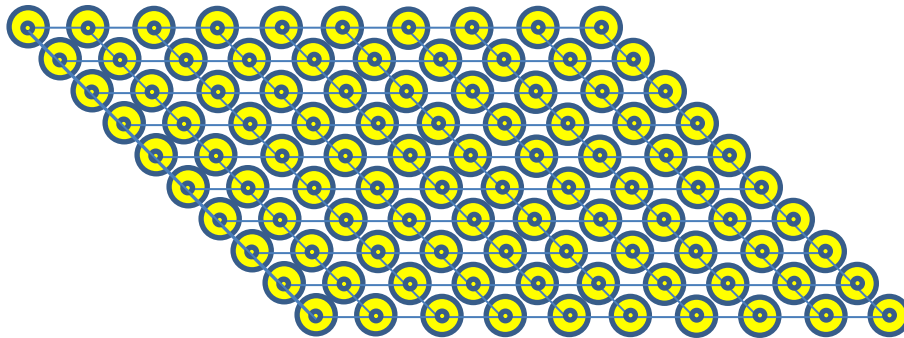
This can be re-written $0 \leq N < \frac{B L_x L_y}{h/e}$ or $0 \leq N < \frac{\Phi}{\Phi_0}$, where $\Phi_0 = h/e$ is the flux quantum.



The physics gets interesting as N approaches the number of electrons in the system because *all* of the electrons become degenerate! (Why doesn't this violate the Pauli exclusion principle?) At full degeneracy there is exactly one magnetic flux quantum per electron. Application of a nearly commensurate competing lattice can result in fractal Bloch bands.



How strong a magnetic field is needed for this to occur? Consider the surface of a gold crystal. Here is a sample that is 10 atoms wide by 10 atoms long:



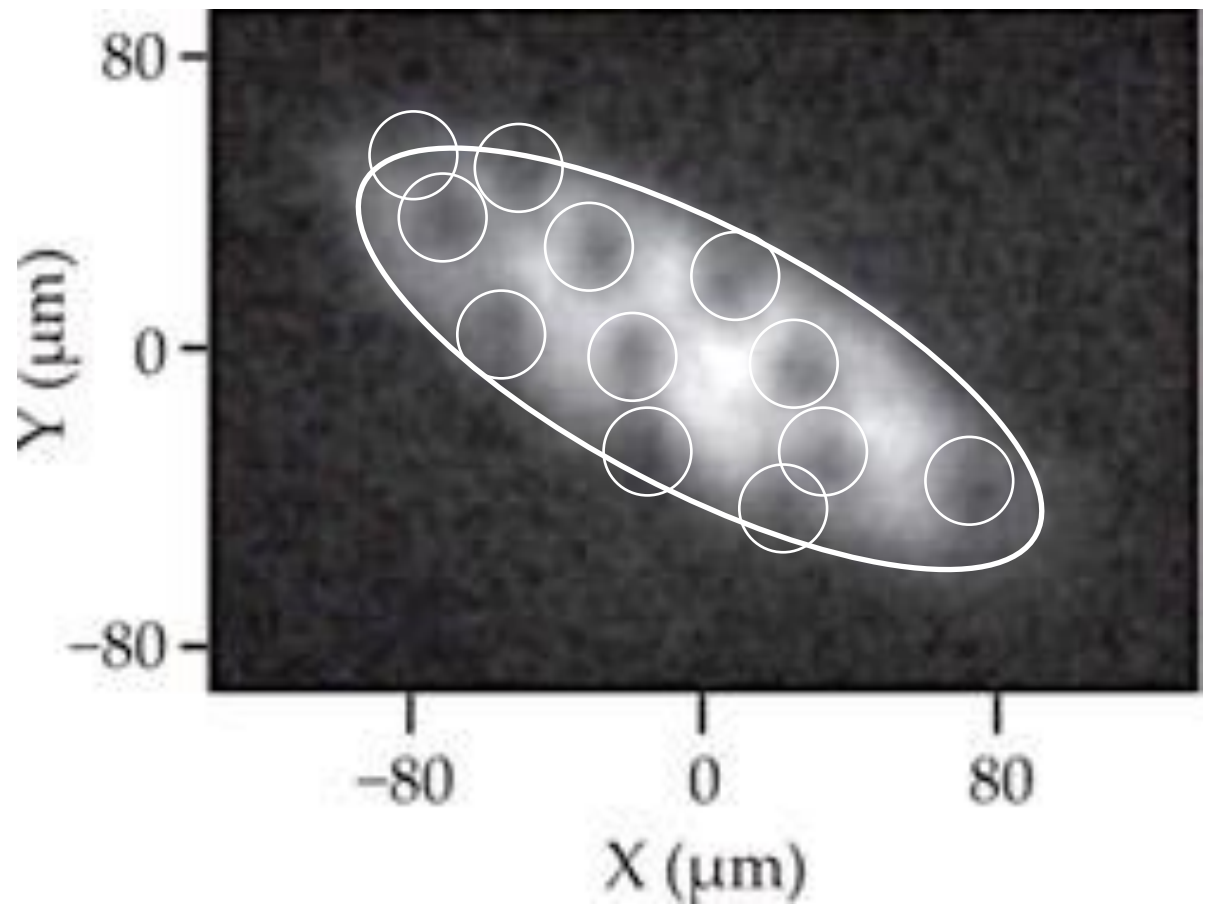
The lattice constant (inter-atomic separation) for Au is approximately 4.080 Å with one free valence electron ($[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^1$) per site.

For all 100 electrons in this sample to be degenerate N is 100. This implies that $\Phi = 100 \Phi_0 = 100 h/e = 4.136 \times 10^{-13}$ Wb. The area of this sample is $4.080 \times 10^{-9} \text{ m} \times 4.080 \times 10^{-9} \text{ m} = 1.665 \times 10^{-17} \text{ m}^2$. So the magnetic field would have to be approximately 24,840 T over the sample!!

vache sacrée!!



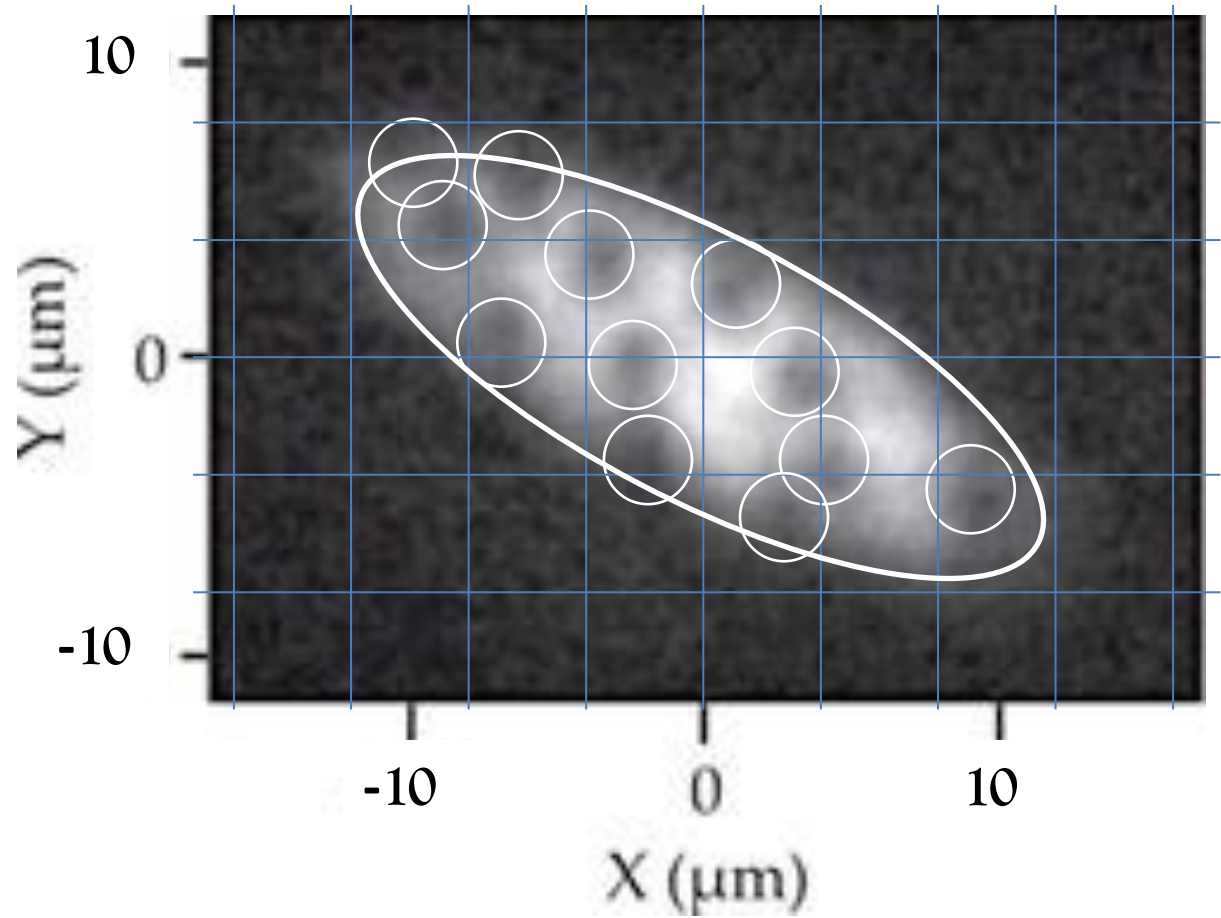
Let's see if we can do better with a Bose-Einstein condensate...



Here is an absorption image of a ^{87}Rb condensate (after TOF expansion) with 12 vortices (indicating 12 magnetic flux quanta). The magnetic field is created synthetically using a two photon Raman transition in the presence of a transverse real magnetic field gradient.¹

1. Y. J. Lin, R. L. Compton, K. Jimenez-Garcia, J. V. Porto and I. B. Spielman, "Synthetic magnetic fields for ultracold neutral atoms," *Nature*, Dec. 3, (2009).

Suppose we load the atoms that comprise the BEC in a 2D optical lattice with a $4\ \mu\text{m}$ lattice constant. Assuming a nominal Thomas Fermi radius of $10\ \mu\text{m}$ (before the TOF expansion), we would have approximately 13 plaquettes as shown.



Calculating the filling factor, we have 13 plaquettes / 12 vortices = 1.083 Landau levels. **Nous pouvons atteindre la dégénérescence!!**

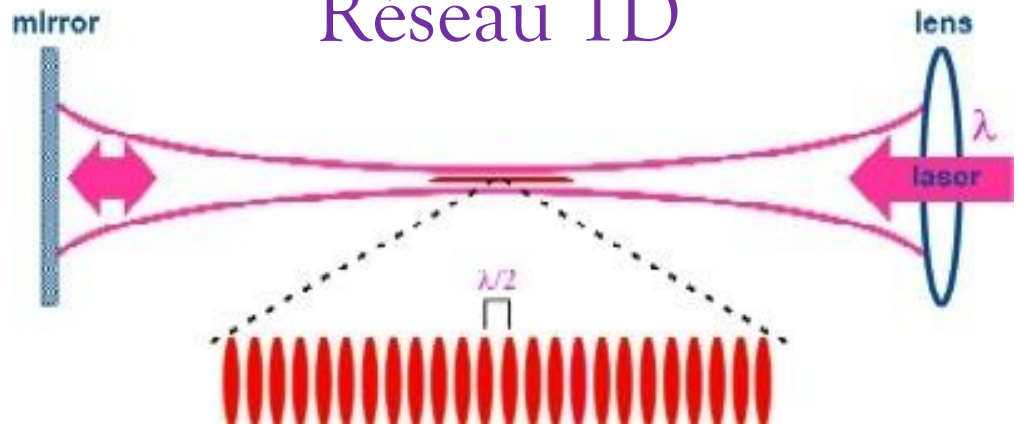
Latitices optiques

Nous pouvons créer des ondes stationnaires de lumière cohérente de lasers. Si la fréquence d'un laser est désaccordé dessous de la fréquence de transition de l'atome, puis les atomes sont attirés par les régions de l'intensité lumineuse plus élevée en raison de l'effet Stark AC.

Piège dipolaire

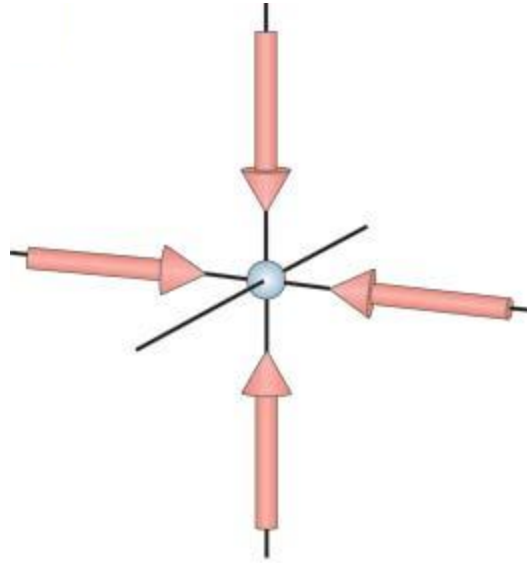


Réseau 1D



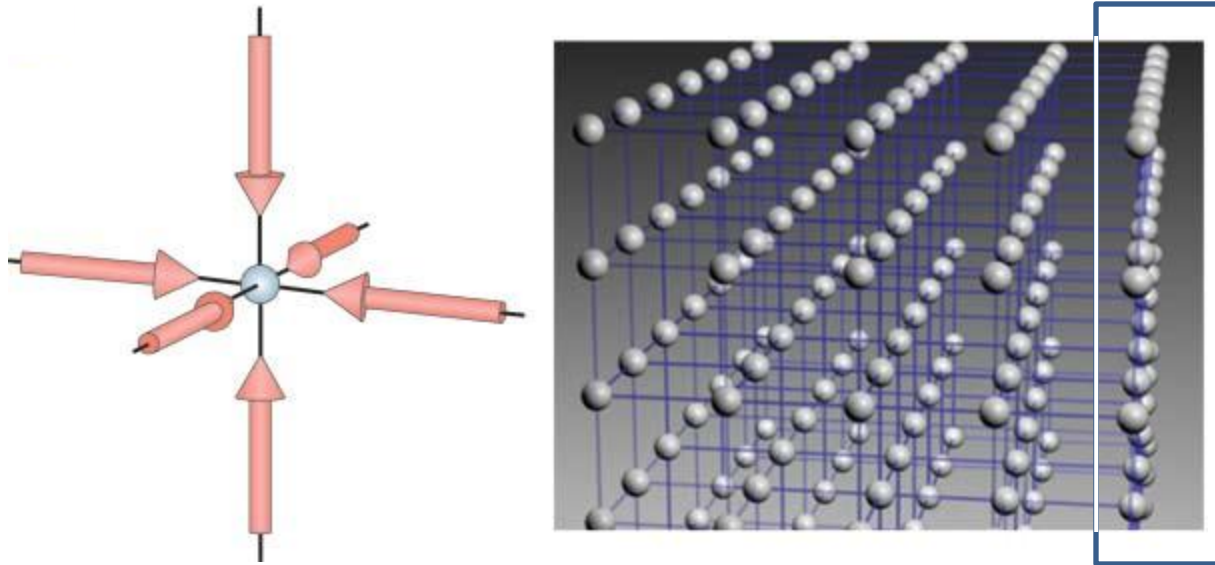
Bien sûr, nous pouvons jouer à ce jeu le long des axes multiples...

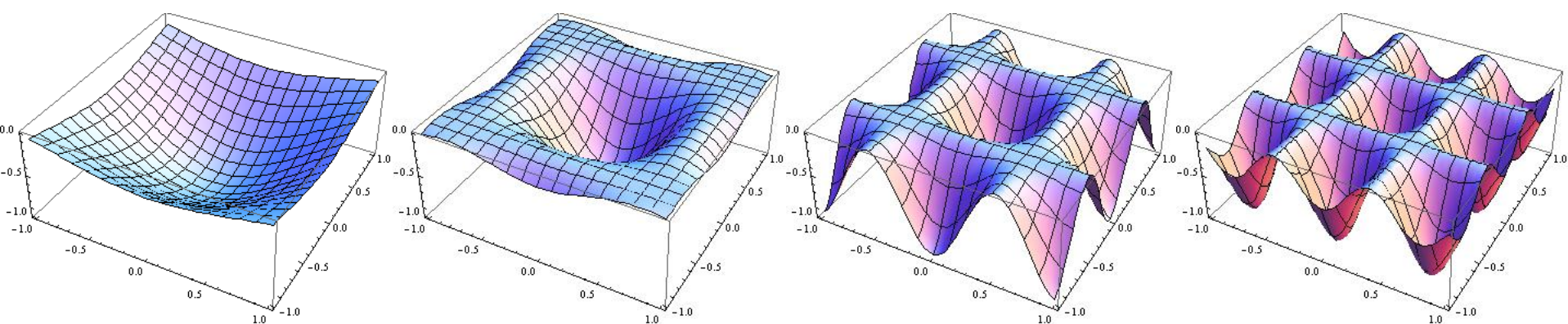
If we do it along two mutually perpendicular axes, we create a 2D optical lattice



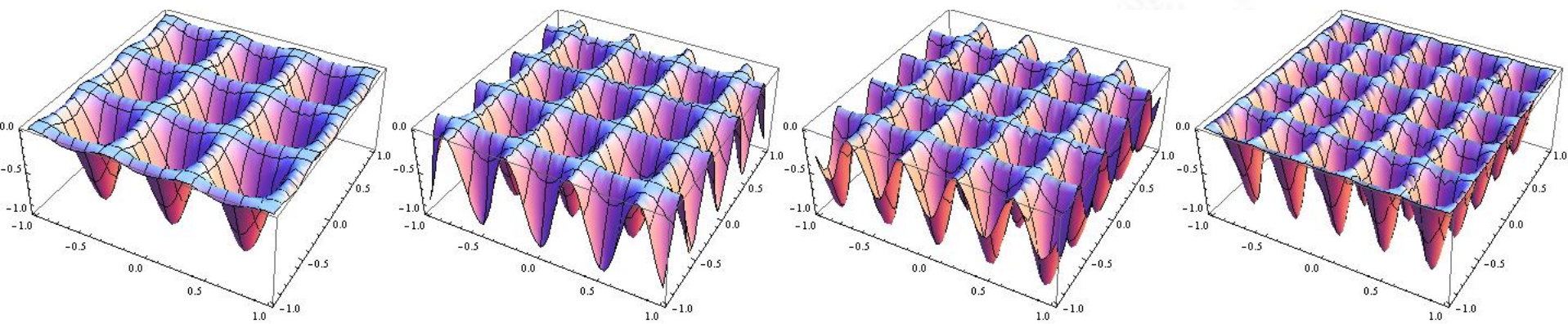
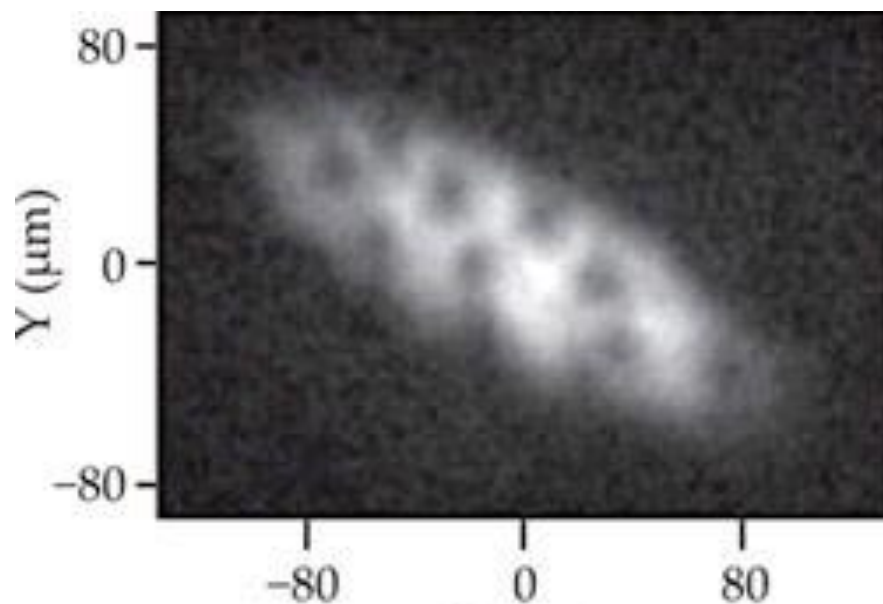
If we do it along three mutually perpendicular axes, we create a 3D optical lattice

We can take one slice of this 3D optical lattice for our 2D optical lattice with unit occupancy



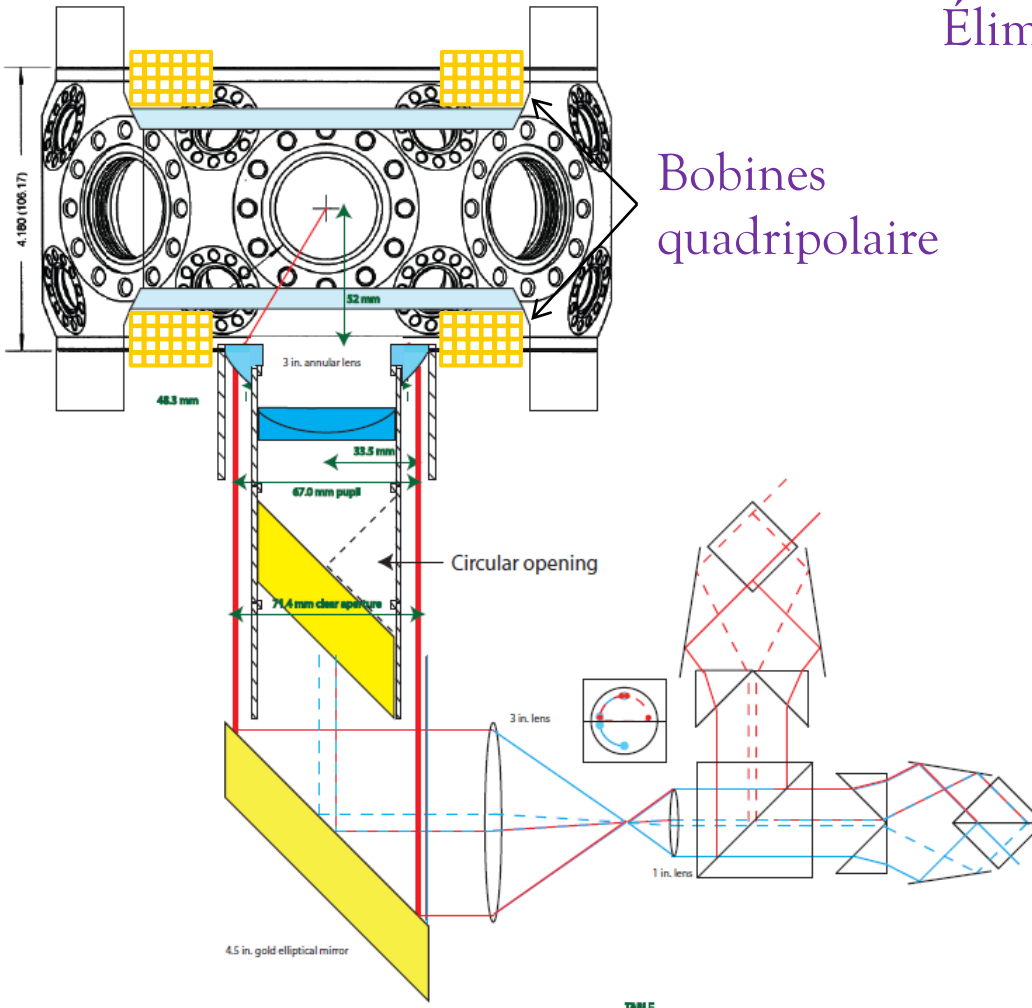


Il serait agréable d'avoir un moyen de régler la constante de réseau facilement faire correspondre le nombre de tourbillons!

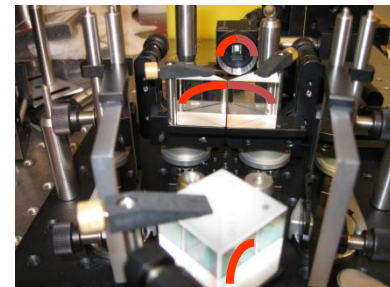
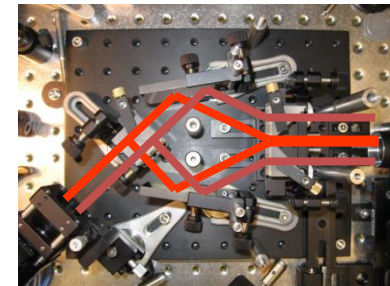
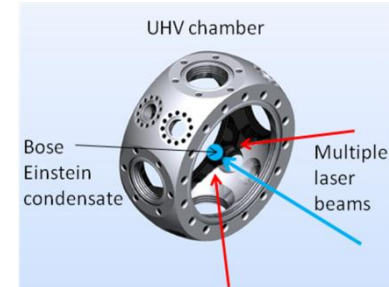


Réseau d'accordéon 2D

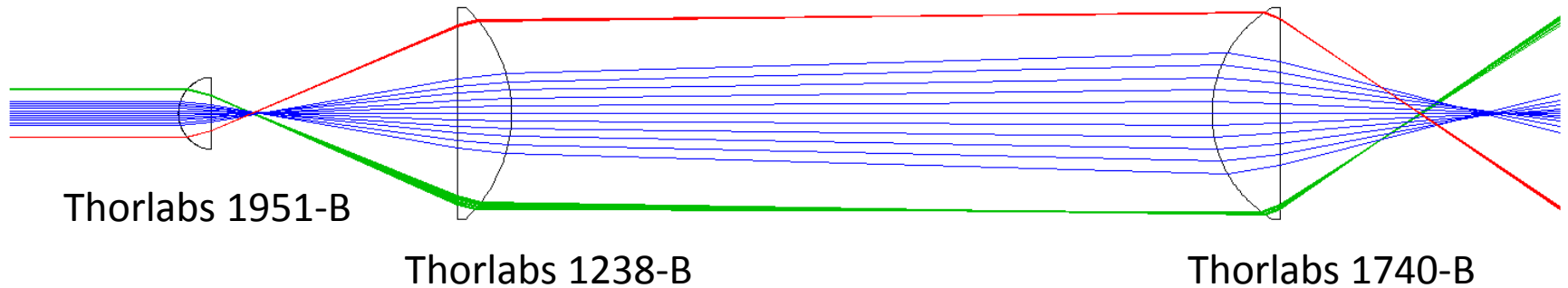
Maintien de l'accès optique
Élimine l'aberration sphérique



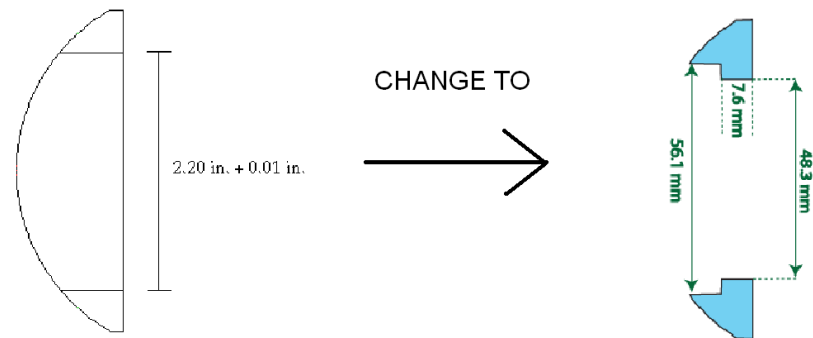
Bobines
quadripolaire

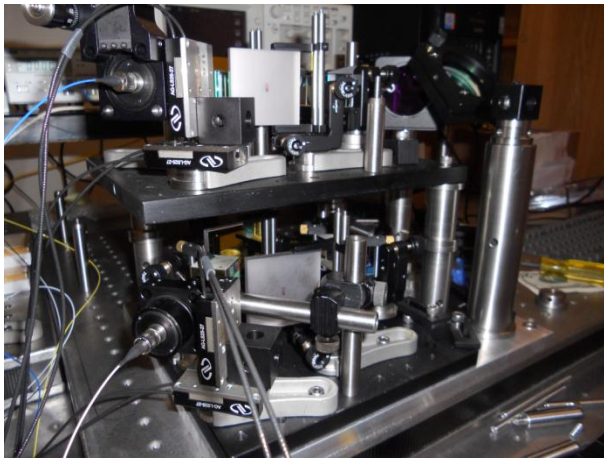


Développement Réseau Accordéon

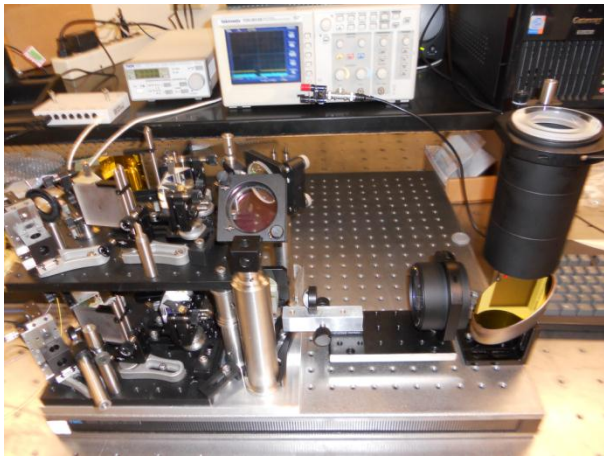


Percer un trou 55,9 mm de diamètre dans le centre d'une lentille plan-convexe avec un diamètre de 76,2 mm, 85,0 mm de longueur focale.

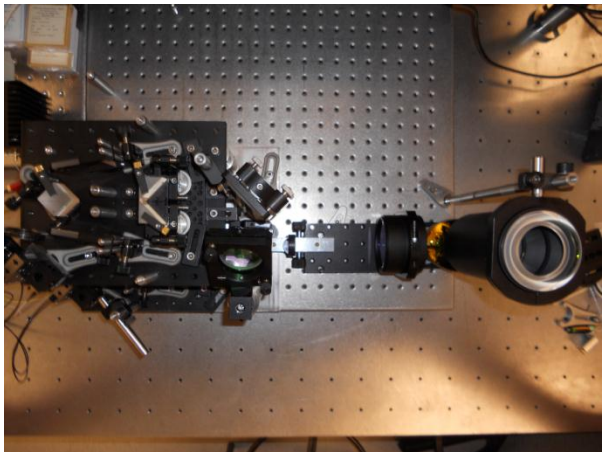




1064 nm light for the X and Y axes of the 2D optical lattice is fiber coupled to independent stacked modules. For each optical lattice axis module, parallel and anti-parallel motion of the two interfering beams is achieved by independent computer-controlled translation stages.



1064 nm light from the X/Y axis modules is combined at a polarizing 1 in. beam-splitting cube. The four beams are then magnified by a nominal 3x adjustable telescope. The four beams are then periscoped up by a 4.5 in. gold elliptical mirror to the 3 in. annular lens and focused at the location of the BEC cloud.

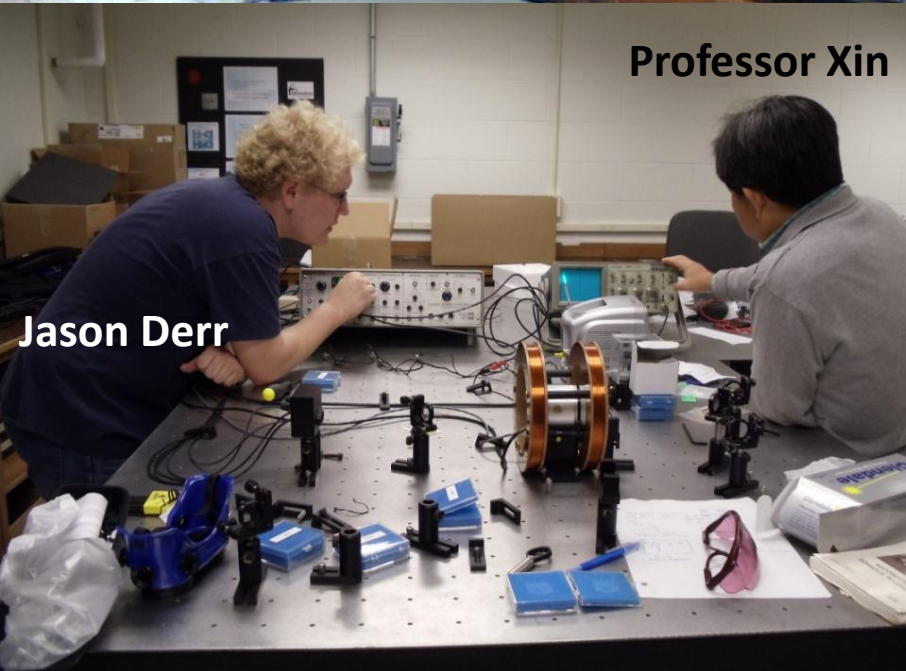


View of the 2D accordion lattice from above. Note that the X/Y axis module assembly, the 3x telescope, the gold elliptical mirror, and the 3 in. annular lens are all separate from each other to permit flexibility of installation into existing BEC apparatus



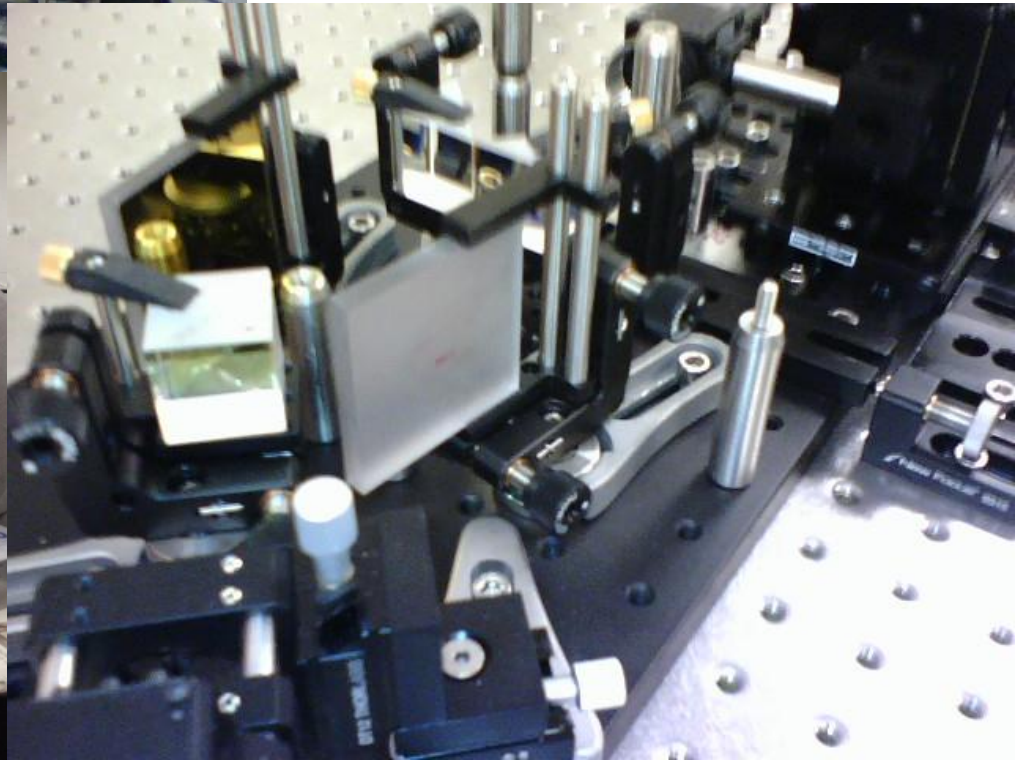
Professor Huckans

Fabrication à
Bloomsburg University
of Pennsylvania terminé.
Il est maintenant en
cours de préparation
pour l'installation au
NIST



Professor Xin

Jason Derr



Je vous remercie!

