Synchronisation dans un réseau optique non dissipatif

Julia Diaz-Luque, Daniel Hennequin et Philippe Verkerk
Laboratoire PhLAM, UMR CNRS 8523, Université de Lille1, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, FRANCE
**julia.diaz-luque@ed.univ-lille1.fr*

Les réseaux optiques constituent un système modèle performant pour de nombreux domaines de la physique [1-3]. Grâce à leur extrême flexibilité, ils permettent de manipuler les atomes froids et de changer leur confinement ou leur densité, en modifiant les paramètres du réseau comme la maille ou la profondeur des puits. En particulier, ils apparaissent comme un modèle idéal pour étudier la dynamique dans les limites classique et quantique : dans les réseaux optiques non dissipatifs, ces limites sont toutes deux accessibles expérimentalement. La plupart des résultats obtenus dans le domaine du chaos quantique utilise des potentiels très simples à 1D [4] ; pourtant, récemment il est apparu nécessaire d'introduire des potentiels plus complexes à 2D [5], qui mènent à une dynamique très riche. Comprendre finement la dynamique classique des atomes dans des potentiels réels est important, notamment parce qu'elle a des conséquences importantes sur le régime quantique correspondant. L'approche statistique habituelle est en général insuffisante, et une approche plus déterministe est possible, comme dans les systèmes dissipatifs. Notre étude de la dynamique des atomes dans différents potentiels 2D a montré qu'il existe différents types de régimes chaotiques, menant à des comportements macroscopiques différents [6].

Dans un réseau résultant de l'interférence entre deux ondes stationnaires orthogonales, la maille est carrée, et les deux directions de l'espace sont fortement couplées. La dynamique devrait donc être complètement chaotique dès que l'anharmonicité devient suffisamment élevée. Cependant, ce régime n'est pas observé dans les réseaux dont la fréquence est décalée vers le rouge de la transition atomique. Dans ce cas, le chaos disparaît presque complètement et la dynamique reste essentiellement quasi-périodique, bien que les non linéarités restent les mêmes. Nous avons associé cette disparition du chaos à l'existence d'un phénomène de synchronisation proche de l'accrochage en fréquence des systèmes dissipatifs [7]. Cette synchronisation a comme origine le fait que, au fond des puits, les fréquences de résonance dans les deux directions sont dégénérées. Quand l'énergie des atomes augmente, la dégénérescence disparaît à cause de l'anharmonicité du potentiel. Toutefois, les mouvements dans les deux directions restent accrochés à la même fréquence. Le résultat est un régime quasi-périodique qui est essentiellement un régime périodique accroché en fréquence, avec des bandes latérales. De cette façon, même au bord des puits, le chaos n'apparaît que de façon très marginale. Ce mécanisme de synchronisation, bien que moins strict que dans un système dissipatif, est assez puissant pour expliquer la disparition du chaos dans ce système.

Dans les réseaux dont la fréquence est décalée vers le bleu, nous avons observé que les atomes assez énergétiques ont une dynamique qui est en général chaotique. Néanmoins, la synchronisation trouvée dans le réseau rouge nous a donné un indice sur les conditions qui font disparaître le chaos. De ce fait, on a essayé de retrouver l'accrochage des fréquences d'oscillation déclenché par leur dégénérescence au fond des puits, cette fois dans un réseau carré bleu. Pour cela, nous avons étudié le voisinage d'une dégénérescence des fréquences et aussi la résonance qui se produit quand la fréquence naturelle d'oscillation dans une direction est le double que celle dans l'autre. Ces situations ont lieu pour certaines valeurs de déphasage entre les deux ondes stationnaires. Effectivement, nous avons obtenu dans ces deux cas le phénomène de synchronisation et, par conséquent, la diminution du chaos. Pour ces cas particuliers, nous avons aussi étudié les solutions périodiques obtenues par une approximation du mouvement de type Duffing (développement au $4^{ème}$ ordre du potentiel). Nous avons vérifié la validité de ces approximations en comparant leurs résultats avec ceux des simulations du système d'origine.

Références

[1] M. Greiner, O. Mandel, T. Esslinger, T. W. Hänsch and I. Bloch, "Quantum phase transition from a superfluid to a Mott insulator in a gas of ultracold atoms", Nature **415**, p. 39 (2002).

[2] B. Paredes et al, "Tonks–Girardeau gas of ultracold atoms in an optical lattice", Nature **429**, p. 277 (2004).

[3] J. Chabé et al, "Experimental Observation of the Anderson Metal-Insulator Transition with Atomic Matter Waves", Phys. Rev. Lett. **101**, p. 255702 (2008).

[4] H. Lignier, J. Chabé, D. Delande, J. C. Garreau and P. Szriftgiser, "Reversible Destruction of Dynamical Localization", Phys. Rev. Lett **95**, p. 234101 (2005).

[5] H. Guo, Y. Wen and S. Feng, "Cold atoms on a two-dimensional square optical lattice with an alternating potential", Phys. Rev. A **79**, p. 035401 (2009).

[6] D. Hennequin and P. Verkerk, "How to characterize the dynamics of cold atoms in non-dissipative optical lattices?", Phil. Trans. R. Soc. A **368**, pp. 2163-2177 (2010).

[7] D. Hennequin and P. Verkerk, "Synchronization in non dissipative optical lattices", Eur. Phys. J. D **57**, pp. 95-104 (2010).