Le modèle de Hubbard

par

John Hubbard

Mémoire présenté au département de physique
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

FACULTÉ des SCIENCES
UNIVERSITÉ de SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, DATE DU DEPOT FINAL

À mon idole, GTools.

Sommaire

En gros mon travail est sick est esti.

Remerciements

Merci à mon homeboy GTools pour être le motherfucker le plus slick que j’ai jamais connu.

Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

Publications

Les travaux réalisés au cours de ma maîtrise ont mené aux publications suivantes :

— Plein de publications

Introduction

Titre significatif

Une introduction très introductive.

Chapitre 1

Éléments de théorie et modèle

On travaille dans les unitées telles que $e = \hbar = k_\mathrm{B} = 1$.

1.1 Modèle de Hubbard

MISE EN CONTEXTE

1.1.1 Hamiltonien

Dans sa forme la plus générale, le hamiltonien du modèle prend la forme suivante dans le contexte de la seconde quantification :

$$\mathrm{H} = \sum_{ij,\sigma} t_{ij} \mathrm{c}^\dagger_{i\sigma} \mathrm{c}_{j\sigma} + U \sum_i \mathrm{n}_{i\uparrow} \mathrm{n}_{i\downarrow}. \tag{1.1}$$

Les opérateurs $\mathrm{c}^{(\dagger)}_{i\sigma}$ sont les opérateurs annihilation (création) fermioniques d'un électron sur le site i de spin σ. Ces derniers peuvent être exprimés dans la base réciproque via les transformée de Fourier :

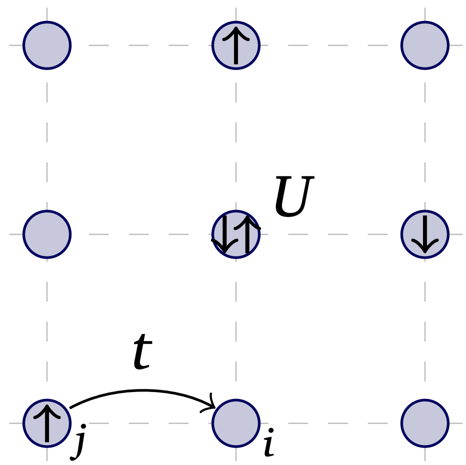

Figure 1.1 Représentation schématique du modèle de Hubbard à une bande. Les cercles sont les sites du réseau et les flèches sont des abstraction des électrons occupant ces même sites. Elles pointent dans la direction du spin de ces électrons. Un bond d'amplitude t entre deux site ainsi qu'un double occupation de coût U sont aussi explicitées.

Chapitre 2

Méthodes de calcul

Tu diagonalise dans le fond. Et aussi tu fixes parfois des conditions de frontière. What if I add on another phrase ?

Ahh et aussi,

$$\int_a^b f(x)\,\mathrm{d}x = F(b) - F(a) \tag{2.1}$$

Et pour un vecteur maintenant :

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \tag{2.2}$$

$\mathcal{R}\mathscr{R}\mathfrak{R}\mathbb{R}\mathbb{C}f$

The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog.

The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog. The quick brown fox jumps over the lazy dog.

The quick brown fox jumps over the lazy dog.

BTW, this is just the dot product (2.2). This is a woodcock 2.1

Figure 2.1 Une bécasse d'Amérique. Un "*stoopi-bird*" certifié. En Français, on dit un « *Oisot* »

This is nabla ∇. Now this is $\boldsymbol{\nabla}$. How about β? And now $\boldsymbol{\beta}$... scary!

Now, let $\mathbf{v} \in \mathbb{R}$

The Wilson loop operator reads as :

$$\boxed{\hat{\mathrm{W}} = \mathcal{T} \mathrm{e}^{-\oint \mathrm{d}\hat{\mathrm{A}}}} \tag{2.3}$$

where a creation or annihilation operator would look like $\hat{\mathrm{c}}_\alpha$ or $\hat{\mathrm{c}}^\dagger_\beta$. Here is just a dagger (†) and a double dagger (‡). Hence, a general hamiltonian will look like :

$$\hat{\mathrm{H}} = \sum_{\mu\nu} t_{\mu\nu} \hat{\mathrm{c}}^\dagger_\mu \hat{\mathrm{c}}_\nu + \sum_{\alpha\beta\mu\nu} V_{\alpha\beta\mu\nu} \hat{\mathrm{c}}^\dagger_\alpha \hat{\mathrm{c}}^\dagger_\beta \hat{\mathrm{c}}_\mu \hat{\mathrm{c}}_\nu \tag{2.4}$$

At equilibrium we say that :

$$\boxed{\hat{\mathrm{H}} = \sum_{\mu\nu} t_{\mu\nu} \hat{\mathrm{c}}^\dagger_\mu \hat{\mathrm{c}}_\nu + \sum_{\alpha\beta\mu\nu} V_{\alpha\beta\mu\nu} \hat{\mathrm{c}}^\dagger_\alpha \hat{\mathrm{c}}^\dagger_\beta \hat{\mathrm{c}}_\mu \hat{\mathrm{c}}_\nu} \tag{2.5}$$

Let's try this :

$$\boxed{\mathbf{F} = \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}t}}$$

Which would be used in the following way normally :

$$\delta S[\phi] = 0 \iff \boxed{\frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \phi(x)} - \partial_\mu \frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \partial_\mu \phi(x)}} \tag{2.6}$$

Now testing derivatives

$$\frac{\mathrm{d}^2 f}{\mathrm{d}x^2} \tag{2.7}$$

Théorème 2.1 : Summation of Numbers

Pour tout $n \in \mathbb{N}$,

$$\sum_{i=1}^{n} i = \frac{n\,(n+1)}{2}. \tag{2.8}$$

C'est un résultat souvent attribué au jeune Gauss.

Définition 2.1 : Goofy Birb

Un « Goofy Birb » est défini comme étant un birb qui est excessivement *pomp*.

Chapitre 3

Why should I care ?

NVM, here is the monospaced test `\ketbra`

Here I am testing the difference between different type of differentials

$$\mathrm{d}x$$

$$\mathrm{d}x$$

$$\mathrm{d}\,x$$

$$d\,x$$

$$\mathrm{d}x$$

How about a derivative ?

$$\frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}x}$$

Now, how about a functional derivative ?

$$\frac{\delta g}{\delta f}$$

Ok, and how about with accents ?

$$\frac{\mathrm{d}\tilde{g}}{\mathrm{d}\dot{q}} \equiv \frac{\delta \tilde{g}}{\delta \dot{q}} =$$

Conclusion

Bibliographie

[1] J. Hubbard et Brian Hilton Flowers. Electron correlations in narrow energy bands. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* **276**(1365), 238–257 (1963). doi:10.1098/rspa.1963.0204.

[2] J. Hubbard et Brian Hilton Flowers. Electron correlations in narrow energy bands. ii. the degenerate band case. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* **277**(1369), 237–259 (1964). doi:10.1098/rspa.1964.0019.

[3] J. Hubbard et Brian Hilton Flowers. Electron correlations in narrow energy bands iii. an improved solution. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* **281**(1386), 401–419 (1964). doi:10.1098/rspa.1964.0190.