تعريفات أساسية في ميكانيك الكم

Basic Definitions

فيما يلي جملة تعريفات أساسية يحتاجها الطالب في ميكانيك الكم لكنها دون كثير من التفصيل لتعطي فكرة عن المقاصد. وربما وجد البعض أن ترجمة المصطلح تختلق عن المتداول أحيانا وهذا سببه عدم الاتفاق في العربية على مصطلحات بهذا العلم. سوف أستمر بإغناء هذه القائمة بمصطلحات أخرى.

دالة الموجة Wavefunction

هي تعبير رياضي عن حالة المنظومة بما فيها الجسيم (او الجسيمات) ضمن ظروفها في المنظومة. وتحتوي دالة الموجة على كافة المعلومات الفيزيائية عن المنظومة التي تمثلها. ولأنها تعبير رياضي فإن كثير من الناس يقول إن دالة الموجة ليس لها معنى فيزيائي مباشر رغم أنها تحتوي كل المعلومات الفيزيائية عن المنظومة التي تمثلها. وأبسط أنواع الدوال الموجية المعبرة عن حالات فيزيائية هي الموجة المسطحة plane wave والتي نكتبها كما يلي

$$\psi = Ae^{ikx}$$

وفيها هو x إحداثي مكاني و k ثابت و $i = \sqrt{-1}$.

كثافة الاحتمالية Probability density

في ميكانيك الكم هي مربع القيمة المطلقة لدالة الموجة $|\psi|^2 = \psi^* \psi$. وبلغة الأمواج هي مربع السعة، أي هي شدة الموجة.

الاحتمالية Probability

هي مقدار جوازية الحصول قيمة معينة في قياس ملحوظ فيزيائي. ويتم استخراجها (في بعد واحد) من دالة الموجة حسب الصيغة التالية

$$probabilit\, y = \int |\psi(x)|^2 \, dx$$

التقويم Normalization

إذا ما جعلنا الاحتمالية الكلية واحد (أي مائة بالمئة) فعندئذ تكون دالة الموجة مقوّمة normalized.

الاجراءات Operators

هي صيغ رياضية تعبر عن الوجود الرياضي للمتغيرات الفيزيائية بعد نقلها إلى حقل الوصف التكميمي. ومن الاجراءات ما هو خطي Linear وما هو غير خطي Non-linear. ويتعامل ميكانيك الكم دوما مع الاجراءات الخطية. لذلك يقال أن ميكانيك الكم هو نظرية خطية.

أمثلة على الاجراءات: $\frac{d}{dx}, \frac{d}{d\phi}, \int(), \log(), \ln().....$

أمثلة على إجراءات ذات أهمية فيزيائية $\hat{p}_x = -i\hbar\frac{\partial}{dx}$, $\hat{H} = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$

معادلة القيمة المخصوصة Eigenvalue equation

هي أية معادلة يتم تشكيلها من اشتغال إجراء ما على دالة لينتج تلك الدالة مضروبة في عدد.

مثال: إذا كان $\hat{A}$ إجراءاً وكانت ψ دالة وكان α عدداً معقداً (بصورة عامة). فإن

$$\hat{A}\psi = \alpha\psi$$

هي معادلة القيمة المخصوصة للإجراء $\hat{A}$ عاملاً على الدالة ψ .

الدالة المخصوصة Eigenfunction

هي الدالة التي تكرر نفسها عند اشتغال إجراء معين عليها بحيث يكون الناتج مساويا لعدد مضروباً في تلك الدالة. أما إذا لم تتكر الدالة بعد اشتغال الاجراء فهي ليست مخصوصة له.

مثال: الدالة ψ في معادلة القيمة المخصوصة السابقة هي دالة مخصوصة للأجراء $\hat{A}$.

القيمة المخصوصة Eigenvalue

هي القيمة التي نحصل عليها نتيجة إشتغال إجراء ما على دالة مخصوصة لذلك الإجراء. ومثاله قيمة α في المعادلة القيمة الخاصة السابقة.

القيمة المتوقعة Expectation value

بسبب التصرف الموجي فإن متغيرات ميكانيك الكم لا تتصرف على النحو الذي يجعل الظاهرة الكمية حتمية deterministic عند قدر معين. بل إن أقيام المتغيرات تتأرجح حول قيمة وسطى هي ما نسميه القيمة المتوقعة.

معادلة شرودنجر المعتمدة على الزمن Time-dependent Schrödinger Equation

هي معادلة الحركة الأساسية في ميكانيك الكم اللانسبوي. وهي مشتقة أصلاً من معادلة الحركة العامة في الميكانيك الكلاسيكي المسماة معادلة هاملتون $E = T + V$ ، حيث يتم إبدال الطاقة E بالإجراء $\hat{H}$ (المسمى الهاملتوني) الذي هو $i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$. ويتم إبدال $T = \frac{p^2}{2m}$ في صيغة البعد الواحد x بالإجراء $\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ على حين يتم الابقاء على الطاقة الكامنة potential V كما هي لنحصل على

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \hat{V}\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

وتسمى هذه معادلة شرودنجر المعتمدة على الزمن في بعد واحد. ويمكن تعميمها بسهولة إلى ثلاثة أبعاد.

معادلة شرودنجر غير المعتمدة على الزمن Time-independent Schrödinger Equation

حينما تكون إعتمادية ψ على الزمن بسيطة يظهر الزمن كمتغير طوري في دالة الموجة أي مثل $e^{iEt/\hbar}$ فإن معادلة شرودنجر تصبح

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \hat{V}\psi = E\psi$$

وتسمى عندئذ معادلة شرودنجر غير المعتمدة على الزمن في بعد واحد. ويمكن تعميمها بسهولة إلى ثلاثة أبعاد.

مبدأ هايزنبرغ في عدم التحديد Heisenberg Uncertainty Principle

هو مبدأ نظري يقرر أن من المستحيل معرفة موقع جسيم وزخمه في آن واحد وبدقة لامتناهية. وللمبدأ صياغات عديدة.

البرم Spin

هو خاصية تناظرية لدالة الموجة للجسيمات الأولية والنظم التي تتألف منها. ويأخذ القيم $0, \frac{1}{2}\hbar, \hbar, \frac{3}{2}\hbar, \ldots\ldots$ وهكذا. وليس صحيحا القول بأن البرم هو دوران الألكترون حول نفسه!

تكون دوال نظم الجسيمات التي لها برم صفر متناظرة دوماً تحت إجراء التدوير بأي زاوية كان ذلك. وتكون دوال نظم الجسيمات التي لها برم نصف متناظرة تحت إجراء التدوير بزاوية قدرها 4π ومضاعفاتها. وتكون دوال نظم الجسيمات التي لها برم واحد متناظرة تحت إجراء التدوير بزاوية قدرها 2π ومضاعفاتها. وتكون دوال نظم الجسيمات التي لها برم إثنين متناظرة تحت إجراء التدوير بزاوية قدرها π ومضاعفاتها.

الفيرميونات Fermions

هي الجسيمات التي تمتلك برماً قدره نصف عدد فردي صحيح. مثل الألكترونات والبروتونات والنيوترونات وميزونات ميو والنيوترينوهات. وتخضع الفرميونات احصائياً إلى نظام فيرمي ـ ديراك الاحصائي.

البوزونات Bosons

هي الجسيمات التي تمتلك برما قدره عدد صحيح أو صفر. مثل ميزونات باي (برم صفر) والفوتونات (برم1) وجسيمات Z W (برم واحد) والجرافيتون (برم 2). وتخضع البوزونات احصائياً إلى نظام بوز ـ آينشتاين الاحصائي.

مبدأ باولي في الاستثناء Pauli Exclusion Principle

لا يمكن أن تكون لأي فيرميونين الأعداد الكمية نفسها في أية منظومة. وللمبدأ صيغة ثانية تقول: لا يمكن وضع أكثر من فيرميون واحد في الحالة الكمومية نفسها. يتعلق مبدأ الاستثناء هذا بلاتناظر دالة الموجة للفرميونات.

الميزونات Measons

هي جسيمات أثقل من الألكترون وأخف من البروتون وتعتبر جزءاً من مكونات نواة الذرة ومن عناصرها الفاعلة، لها برم 0 (ميزونات باي) أو $\frac{1}{2}\hbar$ (ميزونات ميو) وبعضها عديم الشحنة وبعضها الآخر ذي شحنة كهربية سالبة.

النيوترينوهات Neutrinos

جسيمات عديمة الشحنة ضئيلة الكتلة حتى كان الفيزيائيون يعتقدون بعدمية كتلتها حتى وقت قريب. ضعيفة التأثير والتأثر في الأشياء حتى أنها تخرق أقطار السماوات والأرض دون أثر محسوس لها. برمها $\frac{1}{2}\hbar$.

فضاء هلبرت

هو فضاء افتراضي يجمع متجهات الحالة التي هي دوال زمانية ـ مكانية معقدةcomplex، محاوره قائمة على مجموعة كاملة من الدوال الأسسية basis functions (vectors) المتقاومة Orthonormal.

مفكوك التراكب superposition expansion

وهو مفكوك يعبر عن متجه الحالة في فضاء هلبرت الاتجاهي بدلالة مركباته المسقطة على محاور الفضاء تماما مثلما نعبر عن المتجه الديكارتي بدلالة مركباته المسقطة على محاور الفضاء.

مفكوك فورييه Fourier Expansion

هو تعبير عن الدالة بمتسلسة (قد تكون لا نهائية الحدود) من دوال جيبية وجيبتمامية تتحدد معاملاتها بحسب صيغة الدالة الأصلية. ويصلح مفكوك فورييه للتعبير عن الدوال ذات الطابع الدوري. ولهذا المفكوك علاقة مع مفكوك التراكب superposition expansion فهو وجه آخر له.

التوافقيات الكروية Spherical Harmonics

هي دوال متعددة الحدود تصلح لوصف التوزيعات في النظم الكروية وتصلح أن تستخدم كمجموعة كاملة من الدوال الأسسية لفتح متجهات الحالة للزخم الزاوي المداري. كما تستخدم لنفس هذا الغرض في وصف التوزعات الكهربائية والمغناطيسية للأقطاب النقطوية.