

Zusammenfassung

In dieser Dissertation wird ein neuer Ansatz zum Verstehen und zur Verarbeitung natürlicher Sprache eingeführt. Der Ansatz basiert auf einer Analogie zwischen den physikalischen Objekten auf der Quantenebene und den Aktivitäten des menschlichen Geistes. Auf dieser Weise gelingt es die physikalischen und seelischen Phänomene in einem einheitlichen Rahmen zusammenzufassen. Als Konsequenz ergibt sich, daß sich die Eigenschaften vom Geist und Materie nicht grundsätzlich unterscheiden, sondern als unterschiedliche Darstellungen der makroskopischen Materie und des makroskopischen Geistes aufgrund unterschiedlicher Eigenzustände des zugrundeliegenden Quantensystems zu verstehen sind. Die scheinbaren Unterschiede sind daher eher *quantitativ* anstatt *qualitativ*.

Die in der menschlichen Kognition verwendeten Symbole kann man als Quanteneigenzustände bezüglich eines bestimmten Quantenexperiments behandeln. Darüberhinaus wird die Behauptung aufgestellt, daß es sich bei *Gedankengang* und logischer *Schlußfolgerung* um semiotische Transformationen handelt, wobei die Symbole als die Eigenzustände bezüglich eines Formulierungsoperators zu verstehen sind. Der Operator ist eine Analogie zu einem "Observable" in der Quantenmechanik. Im Allgemeinen hat ein "State-of-affairs" (eine Superposition von Eigenzuständen) keine wohldefinierten physikalischen Eigenschaften bis zu dem Zeitpunkt, wo er tatsächlich *gemessen* wird. Deswegen ist auch die klassische Semantik (als die Zuweisung klassischer Symbole zur klassischen physikalischen Realität) nicht wohldefiniert. Im Unterschied zur klassischen Semantik soll *Bedeutung* in einem quantenmechanischen Rahmen als eine *aktive Messung* von einem State-of-affairs behandelt werden.

Wenn man Kognition als Vorgänge auf einem Repräsentationssystem betrachtet, erkennt man, daß das Gedächtnis ein sprachähnliches System ist. Jedoch ist das Gedächtnis größtenteils ein klassisches Phänomen, da die chemischen Aktivitäten im Gehirn der Aggregatsgrenzfall der Quantenmechanik (also ein Phänomen einer sehr großen Menge von Quanten) sind. Daher sind Repräsentationen im Kognitionssystem im strengen Sinne auch nicht wohldefiniert.

Eigenschaften der Sprache, die eng mit dem Alltagsschließen (common sense logic) zusammenhängen, sind Gegenstand des folgenden Abschnitts. Die offenbare Tendenz, sich einer präzisen Definition zu entziehen, und die inhärente Ambiguität lassen sich gut in einem quantenmechanischen Rahmen behandeln. Es handelt sich hierbei um ein zur Quantenmechanik analoges *Unschärfeprinzip* und impliziert eine "Begriff-Symbol-Dualität". Als Anwendung lässt sich der quantenmechanische Formalismus auf Kognitionsvorgänge übertragen. Zum Beispiel kann man *nichtmonotone Schlußfolgerungen* und *Counterfactuals* in diesem Rahmen erklären. Im Einzelnen können die zeit-asymmetrischen Eigenschaften und die genuine Unbekanntheit von nichtmonotonen Schlußfolgerungen in einem quantenmechanischen Modell einfach erklärt werden. Dies gilt auch für Potentialität und Aktualität, die für eine Erklärung von Counterfactuals sehr wichtig sind. Darüberhinaus kann Kausalität als eine Form von Counterfactuals betrachtet werden.

Der zweite Teil der Dissertation behandelt die Simulation und die technische Anwendung der obengenannten Prinzipien auf natürlichsprachliche Verarbeitungsaufgaben. Zuerst werden einfache Experimente mit Beispielen zum Alltagsschließen (exklusives Oder, nichtmonotones Schließen und Counterfactuals) dargestellt. Diese zeigen, daß das klassische Erscheinungsbild der Beispiele implementiert werden kann. Jedoch hat der quantenmechanische Ansatz zusätzliche "Feinheiten", die man in den klassischen Ansätzen nicht finden kann.

Im Folgenden wird gezeigt, daß sich einfache natürlichsprachliche Verarbeitungsaufgaben auf unterschiedlichen Corpora simulieren lassen. Als Erstes werden die syllogistischen Schlußfiguren als quantenmechanisches System modelliert. Dabei konnten ausgezeichnete Ergebnisse erzielt werden. Als Zweites wird eine monolinguale Syntaxmanipula-

tionsaufgabe auf quantenmechanischer Grundlage simuliert, wobei die Ergebnisse deutlich besser als die vergleichbarer konnektionistischer Ansätze sind. Zum Abschluß wird das Quantensystem auf eine deutsch-englische Übersetzungsaufgabe angewandt, in denen schwierige Eigenschaften, wie z. B. lexikalische Ambiguität, abtrennbare Verbpräfixe, Konjugationsendungen, und Umstellungen der Wortreihenfolge bei der Übersetzung vorkommen. Auch bei dieser Aufgabe konnten mit der quantenmechanischen Architektur recht gute Ergebnisse erreicht werden.

Abstract

In this thesis, a novel approach to natural language understanding inspired by quantum mechanical principle is proposed. It is based on an analogy between the physical objects at the quantum level and human's mental states. In this way, the physical and the mental phenomena are to be understood within the same framework. It is also proposed that the apparent differences between mind and matter do not lie in the fundamental differences of their properties, but in the different manifestation of macroscopic matter and macroscopic mind owing to their different composition of pure quantum eigenstates. The apparent differences are therefore *quantitative* rather than *qualitative*.

Specifically, symbols in various cognitive functions are to be treated as eigenstates with respect to a particular quantum experimental arrangement. Moreover, I claim that *reasoning* and *inference* can be treated as transformations of semiosis with symbols being the *eigenstates* of a particular formulation operator. The operator is the counterpart of an *observable* in quantum mechanics. A state of affairs (a superposition of these eigenstates) does not have well-defined physical properties until it is actually *measured*. Consequently the classical semantics (as classical symbols' referring to the classical physical reality) is also not well-defined and may be a misleading idea. Different from classical semantics, *meaning* in the quantum mechanical framework should be treated as an *active measurement* done on a state of affair.

Moreover, the ill-definedness also manifests itself in the cognition internal to a person if we regard *memory* as a language-like representational system. Nevertheless, memory, treated as a specific language system, is a largely quasi-classical phenomenon in that the

chemical activities in the brain are an *aggregate limiting case* of quantum mechanics with a very large number of quanta. The classical “objective” physical reality is therefore a limiting case of quantum reality as well.

The general language in which common sense logic is embedded is then investigated and the apparent evasiveness and ambiguity of language can be accommodated in a quantum framework. This is done by postulating an analogous *Uncertainty Principle* and observing the implication of it. An important implication is the “concept-symbol” duality. As applications, the quantum mechanical formalism is applied to cognitive processes. For instance, *non-monotonicity* and *counterfactual conditionals* can be accommodated and assimilated in this framework. Specifically, the time-asymmetric property and the genuine unknown state of non-monotonic reasoning can be easily explained in quantum mechanics. This is also the case for the *potentiality* and *actuality*, which are crucial ideas for explaining counterfactual reasoning. Furthermore, causality can be regarded as a disguise of counterfactual reasoning.

The second part of the thesis is devoted to simulations and technical applications of the aforementioned principle in natural language processing. First the preliminary experiments of common sense logic are presented. These show that the “classicization” of common sense logic can be implemented with very simple quantum mechanical systems. Moreover, the richness of the quantum framework goes well beyond what a classical system can offer. There can be “fine-structures” within seemingly simple logical arguments (XOR, for example). This is also the case for non-monotonic and counterfactual reasoning.

Simple natural language tasks are also simulated based on different natural language corpora. First the syllogistic arguments embedded in natural language are simulated with a quantum system, which delivers quite remarkable results. Secondly, a monolingual syntax manipulation is implemented with a quantum system, in which the quantum mechanical approach can achieve much better performance than connectionist one. In the last experiment, a quantum mechanical architecture is trained for bilingual translation between English and German, in which there are several thorny properties in the natural language corpus, for example lexical ambiguity, separable prefixes, complicated conjugation, and

non-linear translational word mappings. Nevertheless, the quantum mechanic architecture can deliver very satisfactory results.