

FÍSICA DA INFORMAÇÃO DO ÍON CÁLCIO. Roberson Saraiva Polli, Alfredo Pereira Júnior – Inter - Áreas – Física Médica – Departamento de Educação – Instituto de Biociências – Campus de Botucatu.

O emprego cada vez maior da matemática e o uso de computadores em biologia abriram novos caminhos para o estudo da circulação como uma unidade funcional, não apenas por facilitar as tarefas de análise estatística e numérica, mas dando ao investigador liberdade de exprimir seus dados ou hipóteses em forma lógica ou matemática mais apropriada.

Nos últimos anos, têm se desenvolvido bastante a área de Informação e Computação Quântica, inclusive com diversas realizações experimentais publicadas em periódicos de primeira linha. Dentre tais realizações experimentais, destacam-se os computadores quânticos do tipo Armadilha de Íons (CQAI). Nestes experimentos, tem sido usado o íon de cálcio, cujos estados vibracionais são mostrados na figura 1, como portador de informação, a qual é transferida e recuperada através de uma utilização apropriada do laser. Dada a grande importância na fisiologia cerebral do íon de cálcio, sendo considerado um dos principais mensageiros de informação no neurônio, somado a estudos recentes que confirmam a existência de quatro sítios de ligação deste íon na molécula calmodulina, neste projeto levantamos a possibilidade da utilização de conhecimentos sobre informação quântica para o estudo da dinâmica do íon de cálcio no neurônio in vivo.

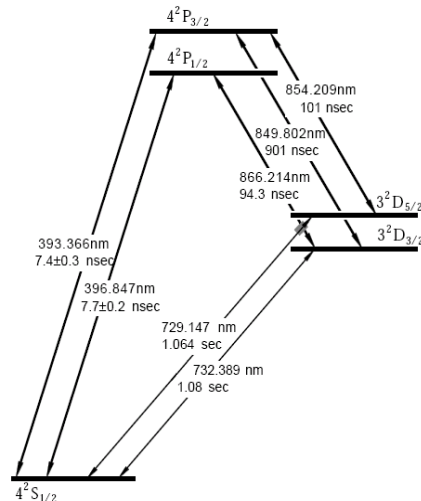


Figura 1: Estados internos do íon cálcio Ca^+ .

A metodologia utilizada, devido à natureza desta pesquisa, foi fundamentalmente pesquisa bibliográfica. Em seguida será feita uma breve resenha do material utilizado. O tratado de computação e informação quântica de Nielsen e Chuang [5] aborda praticamente todas as sub-áreas deste assunto, condensando tanto a parte teórica quanto experimental deste assunto sem torná-lo inacessível para pesquisadores que não são da área. É a principal referência da maior parte dos artigos de computação e informação quântica tornando-se uma necessidade para qualquer pesquisador da área. O experimento de Los Alamos [3] foi a principal fonte em relação a experimentos. É também muito detalhado e didático, explicando cada passagem realizada. Embora necessite de um ambiente bem adverso do biológico (temperatura próximo do zero Kelvin e uma forte armadilha quadripolar), foi o primeiro e mais bem sucedido experimento de CQAI. Além deste modelo, há vários outros propostos. O estudo da neurobiologia molecular baseou-se em livros texto como [9], bastante conhecido. O artigo de Carafoli [1] faz uma ótima síntese do papel do íon Ca^{++} como primeiro, segundo e terceiro mensageiro, denotando sua importância no cérebro em eventos como a consciência e a memória. Em [7], detalha-se a importância da compartimentalização da espinha dentrítica e a sua funcionalidade. Relacionando a informação biológica,

ou molecular, com a informação física temos o artigo de Rocha et al [6]. Neste, há uma hipótese de computação quântica no cérebro através da proteína Calmodulina, computação esta ligada à consciência.

Um computador quântico trabalha com qubits, que são objetos que podem adquirir os valores lógicos '0', '1' ou qualquer superposição deles. É a propriedade de superposição que distingue bits de qubits.

Há várias propostas de CQAI, dentre elas destaca-se a de Cirac e Zoller [2]. Neste esquema, cada qubit é um é o estado fundamental e um estado metaestável de um íon, que é “congelado” por laser ao repouso em uma armadilha quadrupolar linear de radio-frequência. Isto significa que o laser diminui ao máximo, ou bem perto disto, as oscilações do íon. Diminuindo estas oscilações, os estados internos do íon tornam-se relevantes. Operações computacionais são então realizadas por interações coerentes laser-íon entre os níveis relevantes do registrador.

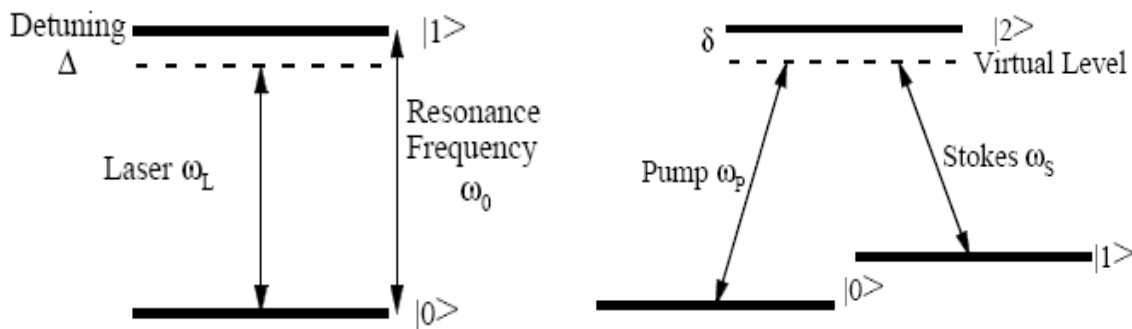


Figura 2: Computação quântica com feixe simples e duplo, respectivamente.

Uma das maiores dificuldades da realização do CQAI é a natureza muito frágil do estado fundamental do CM. É necessário que os íons sejam congelados e mantidos neste estado fundamental para que realizemos operações lógicas (portas lógicas) na maneira proposta por Cirac e Zoller [2]. Qualquer “aquecimento” (excitação por campos externos, ou seja, perturbação do meio) diminui a acurácia da porta lógica. Como eliminar todas as possíveis causas de aquecimento, ou seja, eliminar a interferência do meio, é muito difícil, tornou-se necessária a investigação de métodos de CQ que não necessitem que o CM esteja em seu estado fundamental, sendo propostos 4 modelos [8].

Além da realização da CQ, é importante a presença de emaranhamento (propriedade de correlação entre partículas quânticas). Assim como para a CQ com íons “quentes”, recentemente foram propostos alguns esquemas que permitem a geração de emaranhamento em íons quentes destacando Zheng [11] e Molmer [4].

Desta forma, para a realização de uma possível computação quântica no cérebro, deve haver uma maneira e um local para a formação dos emaranhados; a realização da computação quântica e a leitura da informação.

Formação dos emaranhados

Segundo o nosso modelo, os emaranhados seriam formados nos astrócitos. A sua membrana produziria o isolamento necessário e os astrócitos conectados formam uma rede (figura 3), permitindo o fluxo dos íons de cálcio, podendo notar alguma semelhança com o computador quântico em larga escala (figura 4) Em seguida apenas parte destes íons emaranhados seriam enviados para o neurônio por meio da sinapse tripartite (sinapse entre um neurônio pré-sináptico, um pós-sináptico e um astrócito).

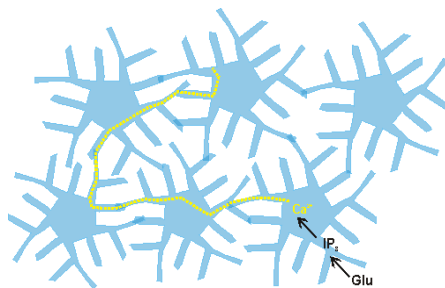


Figura 3: Rede astrocítica.

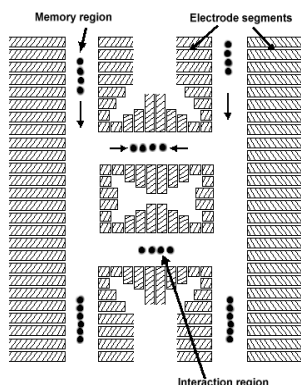


Figura 4: Modelo de computador quântico em larga escala.

Realização da computação quântica

A computação quântica seria realizada enquanto os íons cálcio atravessassem um canal (NMDA, por exemplo), com energia proveniente do campo elétrico gerado pela despolarização da membrana.

Leitura da Informação

Sabe-se que a proteína calmodulina possui quatro sítios de ligação com o cálcio e pode assumir cerca de 100 configurações diferentes [10]. Especulamos que o íon cálcio interage diferentemente com a proteína de acordo com seu estado interno. Assim, a informação seria lida pela proteína calmodulina, transformando a informação quântica em biológica.

Como apenas parte dos íons emaranhados interagiria com o campo elétrico, a informação seria transmitida aos íons da rede astrocítica e destes para outras regiões do cérebro.

Ainda é muito cedo para afirmar que haja qualquer tipo de computação quântica no cérebro. Há várias perguntas a serem respondidas:

Seria possível manter a coerência quântica em um meio biológico?

A energia proveniente do campo elétrico seria suficiente para a realização da computação quântica?

A interação do íon cálcio com a molécula calmodulina obedeceria aos seus estados internos?

Porém a coincidência do íon utilizado nos computadores quânticos experimentais e a grande importância deste íon nos mais diversos processos cerebrais torna esta hipótese plausível. A enorme variedade de configurações da calmodulina bem como os quatro sítios para interações com o íon cálcio também nos chama a atenção para a real função desta molécula bem como a sua interação com a calmodulina quinase dependente.

Referências Bibliográficas

- [1] CARAFOLI, E. (2002) **Calcium Signaling: a tale for all seasons**. Proc. Natl. Acad. Sci. 99 (3): 1115-1122.
- [2] CIRAC, J.I. and ZOLLER, P. (2000) **A Scalable Quantum Computer with Ions in an Array of Microtraps**. Nature 404: 579-581.
- [3] HUGHES, R.J., JAMES, D.F.V. et al. (1997) **The Los Alamos Trapped Ion Quantum Experiment**. quant-ph/9708050 27 Aug 1997.
- [4] MOLMER, K., SORENSEN, A., **Multiparticle Entanglement of Hot Trapped Ions**, Physical Review Letters, volume 82, número 9.
- [5] NIELSEN, M. A. and I. L. CHUANG (2000). **Quantum Computation and Quantum Information**. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- [6] ROCHA, A.F., PEREIRA JR, A. and COUTINHO, F.A. (2001) **NMDA Channel and Consciousness: from signal coincidence detection to quantum computing**. Progress In Neurobiology 6 (64): 555-573.
- [7] SABATINI, B. L., MARAVALL, M. and SVOBODA, K. (2001) **Ca²⁺ signaling in dendritic spines**, Current Opinion in Neurobiology, 11/3:349-356.
- [8] SCHNEIDER, S., JAMES, D.F.V., MILBURN, G.J., **Method of Quantum Computation with “Hot” Trapped ions**, quant-ph/9808012 v1 7 ago 1998
- [9] SMITH, C.U.M., **Elements of Molecular Neurobiology**, 3rd. ed., John Wiley & Sons, 2002.
- [10] WILSON, M.A. et al, **The 1.0 Å Crystal Structure of Ca²⁺-bound Calmodulin: an Analysis of Disorder and Implications for Functionally Relevant Plasticity**, Journal of Molecular Biology, Vol. 301, No. 5, pp. 1237-1256 (2000).
- [11] ZHENG, S.B., **Generation of entangled states for many multilevel atoms in a thermal cavity and ions in thermal motion**, Physical Review A 68, 035801 (2003).

Bolsa: CNPq