

ESTADA JOVES I CIÈNCIA: TERCERA FASE

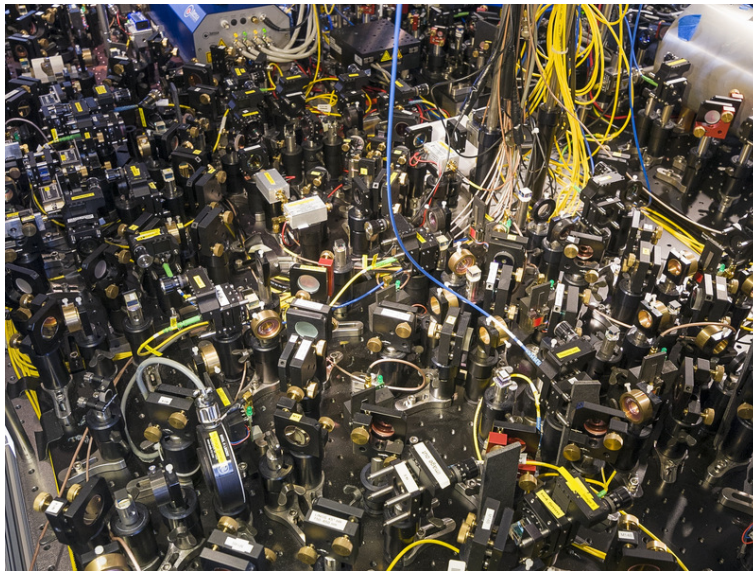
**Institut Max Planck d'Òptica
Quàntica**

Sílvia Casacuberta

Setembre 2018

1 Introducció

Aquest estiu vaig tenir l'oportunitat de realitzar una estada de dues setmanes a l'Institut Max Planck d'Òptica Quàntica a Garching, Alemanya (*Max-Planck-Institut für Quantenoptik* en alemany i també conegut com a MPQ). L'Institut és part de la *Max Planck Society*, la qual opera 87 centres de recerca a Alemanya, els quals investiguen els camps de la física, les matemàtiques, l'antropologia, i molts d'altres. L'Institut d'Òptica Quàntica està dirigit pel professor Ignacio Cirac i compta amb quatre divisions i set grups de recerca. El meu projecte s'emmarcava en la *Theory Division*, també dirigida pel professor Ignacio Cirac. La primera setmana em va tutoritzar el Dr. Antoine Tilloy i la segona setmana el Dr. Jordi Tura. L'Institut d'Òptica Quàntica manté un fort vincle amb l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO).



2 Fitxa tècnica

1. Centre: Institut Max Planck d'Òptica Quàntica.
2. Localització: Hans-Kopfermann-Straße 1, 85748 Garching bei München, Alemanya.
3. Durada: dues setmanes (1 de juliol fins 14 de juliol de 2018).
4. Projecte: Estudi de les desigualtats de Bell.
5. Divisió de recerca: *Theory Division*.
6. Supervisió del projecte: Dr. Antoine Tilloy i Dr. Jordi Tura

3 Projecte

Durant la primera setmana del projecte vaig estar aprenent teoria sobre mecànica quàntica a través de classes amb el Dr. Antoine Tilloy i diverses lectures, com ara les del llibre *Quantum Computation and Quantum Information* dels autors Chuang i Nielsen. Adjunto a l'annex un exemple dels apunts que vaig prendre durant aquesta setmana.

La segona setmana vaig treballar en un projecte en el qual vaig poder usar les eines que havia après durant la setmana anterior, tot i que el projecte tenia un enfocament més matemàtic. Consistia en estudiar el polítop projectat a partir d'unes desigualtats de Bell en un espai de dimensió inferior aplicant un tipus de simetria. Vam treballar principalment amb desigualtats de Bell amb correladors del tipus *nearest-neighbours* i vam generalitzar el problema a una *lattice* 2D en comptes d'unidimensional. Utilitzant els programes informàtics CDD i Porta vam comptabilitzar el nombre de vèrtex del polítop projectat en diferents casos i vam trobar una cota per aquests, utilitzant el teorema de Pólya i teoria de grups.

4 Valoració personal

Valoro molt positivament la meva última estada de Joves i Ciència, que m'ha permès tancar el meu pas pel programa amb un gran record d'aquest. M'ha resultat extremadament interessant poder viure la recerca científica des de dins d'un centre de recerca d'alt nivell. A més, amb Joves i Ciència he pogut experimentar la recerca científica des de dos angles diferents: la recerca universitària (l'estiu passat) i la recerca d'institut (aquest estiu). També he pogut estudiar dos àmbits científics diferents: matemàtiques (l'estiu passat) i física (aquest estiu). Més enllà de tots els conceptes de física quàntica que he après, ha estat un privilegi poder parlar amb investigadors d'alt nivell del i veure com s'organitza un institut com el Max Planck (per exemple, assistia cada dia als seminaris del grup de teoria en el qual convidaven investigadors d'altres centres i universitats). Estic molt agraïda a Joves i Ciència per tot el que m'ha aportat a nivell personal i acadèmic, ja que haver pogut estar en contacte amb la recerca científica abans de començar la universitat m'ha ajudat molt a orientar-me i a tenir una idea molt més clara de les possibles sortides que hi ha en acabar els estudis universitaris.

5 Annex

Afegeixo un dels escrits que vaig realitzar durant l'estada com una petita mostra del tipus de conceptes teòrics que vaig aprendre.

1. **First Postulate:** the state of a system is denoted with the vector $|\Psi\rangle$. It is a *ray*, which means that the norm of $|\Psi\rangle$ is one. Equivalently, $\langle\Psi|\Psi\rangle = 1$, or $\sum_{i=1}^d a^* a_i = 1$, where a^* refers to the conjugate of a_i .

(a) First Postulate as stated in *Quantum Computation and Quantum Information*: Associated to any isolated physical system is a complex vector space with inner product (that is, a Hilbert space) known as the *state vector*, which is a unit vector in the system's state space.

2. **Second Postulate:** the evolution of a system is such that

$$|\Psi_t\rangle = U(t)|\Psi_0\rangle,$$

where $U(t)$ refers to a unitary matrix that depends on the parameter t . A unitary matrix is a matrix such that $U^*U = UU^* = I$, I being the identity matrix. The symbol $*$ refers to the conjugate transpose of a matrix. The fact that U is unitary assures that $|\Psi\rangle$ is always a valid state:

$$\langle\Psi_t|\Psi_t\rangle = \langle\Psi_0|U^*U|\Psi_0\rangle = \langle\Psi_0|\Psi_0\rangle = 1$$

(a) Second postulated as stated in *Quantum Computation and Quantum Information*: The evolution of a *closed* quantum system is described by a *unitary transformation*. That is, the state $|\Psi\rangle$ of the system at time t_1 is related to the state $|\Psi'\rangle$ of the system at time t_2 by a unitary operator U which depends only on the times t_1 and t_2 ,

$$|\Psi'\rangle = U|\Psi\rangle.$$

3. **Third Postulate:** in a binary measurement, result $+1$ has probability $\langle\Psi|P|\Psi\rangle$, and the opposite result -1 has probability $\langle\Psi|I - P|\Psi\rangle$. P is a projector, which means that $P = P^2$. Moreover, after the measurement the new state becomes

$$\frac{P|\Psi\rangle}{\sqrt{\langle\Psi|P|\Psi\rangle}}$$

in the case of $+1$ and

$$\frac{I - P|\Psi\rangle}{\sqrt{\langle\Psi|I - P|\Psi\rangle}}$$

in the case of -1 .

- (a) Third Postulate as stated in *Quantum Computation and Quantum Information*: Quantum measurements are described by a collection M_m of *measurement operators*. These are operators acting on the state space of the system being measured. The index m refers to the measurement outcomes that may occur in the experiment. If the state of the quantum system is $|\Psi\rangle$ immediately before the measurement then the probability that result m occurs is given by

$$p(m) = \langle \Psi | M_m^* M_m | \Psi \rangle,$$

and the state of the system after the measurement is

$$\frac{M_m |\Psi\rangle}{\sqrt{\langle \Psi | M_m^* M_m | \Psi \rangle}}.$$

The measurement operators satisfy the *completeness equation*,

$$\sum_m M_m^* M_m = I.$$