

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO



DIARIO DE UNA INFORMACIÓN CUÁNTICA
Dr. JOSÉ LUIS LUCIO MARTÍNEZ

**JORGE URIEL DOMINGUEZ JUÁREZ, DIVISIÓN DE CIENCIAS E
INGENIERÍAS CAMPUS LEÓN, ING. EN FÍSICA**

**JESUS EZEQUIEL OJEDA ROSAS, DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA, ING. EN MECATRÓNICA**

**OCTAVIO EDUARDO MANCILLA FRAUSTO, DIVISIÓN DE
CIENCIAS E INGENIERÍAS CAMPUS LEÓN, LIC. EN FÍSICA**

**KYLIAN ALFONSO MARTIN VARELA, DIVISIÓN DE CIENCIAS
NATURALES Y EXACTAS, LIC. EN QUÍMICA**

DIA 1 - Adentrándose a la información cuántica

Comenzando el viaje por el conocimiento este día fue de suma importancia ya que fue la introducción a todo este mundo cuántico, podemos empezar por la información, definir qué es y para que se usa como concepto es algo que tenemos interiorizado y aun mas las generaciones que nacieron con el auge del internet y estos cúmulos gigantes de información, pero obviamente la información no es concepto o palabra contemporánea a nuestra época, si no que está implícita desde el lenguaje en sí mismo, así también se mueve el conocimiento en el internet por medio de la información que es formada por el sistema binario 1 y 0 para poder enviar mensaje debemos tener en cuenta que esta información está en riesgo al transmitirse, si queremos que ésta esté segura debemos utilizar lo que es llamado criptografía, porque se necesita esta criptografía ya que en una red tan grande como la que corre en nuestros tiempos es fácil que puedan interferir o robar la información que tu estés compartiendo en la red, entonces lo que se hizo fue la criptografía convencional, la cual consiste en tener el mensaje, el algoritmo de encriptación y la llave para descryptar el mensaje y porque es difícil que se pueda llegar al mensaje, es por la gran combinación de posibles llaves para cada mensaje y se nos mostró el ejemplo claro de que si tuviéramos una llave de 128 bits las combinaciones serian. ⬇

100, 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

claro que es una sorpresa dices ¡wow! al ver tal cantidad de posibles combinaciones ahí la dificultad, para que a prueba y error pueda encontrarse la llave necesaria para descryptar el mensaje, algo muy impresionante es el tiempo estimado que llevaría a una computadora convencional con una llave de 300 dígitos el tiempo estimado seria de 10^{16} años y esto a que equivale para que nos demos una idea estamos hablando de más tiempo del que se estima tiene de edad el universo. Entonces luego podemos compararlo con una super computadora que para una llave de 300 dígitos esta super computadora tardaría 20 millones de años quedamos impresionados la primera vez que lo escuche esa es la seguridad de la que hablamos. pero aun así esta

tecnología cambio con las computadoras cuánticas que mediante un cambio de paradigma utilizando las propiedades de esta misma para procesos de encontrar estas llaves a una computadora cuántica le llevaría 200 segundos si, una abismal diferencia, pero esto es lo que se nos espera en los próximos años.

DIA 2 – Vectores y más vectores

Se dice que si entiendes el álgebra lineal podrás entender mucho mejor la física cuántica, por lo que este día hemos comenzado a ver un poco de herramientas matemáticas, entre ellas los conocidos vectores pero esta vez con una notación un poco diferente a lo que había visto antes. Por un lado, tenemos los “kets”, que son vectores, arreglos verticales, y por otro los “bras”, que son arreglos horizontales en ambos casos involucrando números complejos, dando como resultado un “bra-ket”.

Podemos hacer muchas cosas con ellos, ya sea sumarlos, obtener el producto escalar, multiplicarlos por una constante. Es todo tan interesante, incluso cuando les agregas números complejos.

DIA 3 – Bases ortonormales y matrices adjuntas

El día de hoy nos ha tocado ver un poco más sobre matemáticas. Una base es ortonormal cuando el producto escalar de los vectores base conduce a una matriz que tiene ceros cuando i es diferente de j ; pero tiene un 1 cuando i es igual a j .

Una cosa interesante es que podemos multiplicar una matriz $n \times n$ por un vector n de la forma ket y obtener un nuevo vector n de forma ket. Si ahora multiplicamos un vector bra por una matriz, obtendremos un nuevo vector de la forma bra.

Algo que me causaba mucha duda en el pasado era la matriz A^\dagger , pero en esta sesión nos explicaron no es más que una matriz A transpuesta y con sus elementos conjugados. Vaya, tuvieron que pasar 2 años para quitarme esa duda de la cabeza.

DIA 4 - ¿Qué onda con esta partícula?

En este día nos adentramos al documento llamado “Understanding quantum physics through simple experiments: from wave-particle duality to Bell’s theorem”. En este artículo se muestran 6 experimentos que muestran el comportamiento de la luz como partícula y como onda.

El primer y segundo experimento se puede explicar si consideramos que la luz se está comportando como una partícula. El tercer y cuarto experimento se esperaría que se comportase igual, pero los resultados nos dicen que, para dar una explicación razonable, tendríamos que utilizar las propiedades de las ondas y sumar sus amplitudes para predecir la probabilidad de que se active cada detector.

El quinto y sexto experimento son exactamente iguales al tercero y cuarto, sólo que les introduce 2 detectores no destructivos, los cuáles solo nos dirán si los fotones se fueron por uno o por otro camino. Lo extraño es, que a pesar de que sólo se le hace ese pequeño cambio al experimento y los resultados son completamente diferentes a lo que pasó en el experimento 3 y 4, en este caso, la luz se comporta como partícula, entonces ¿Qué es, una onda o una partícula? o porque no las dos al mismo tiempo y no lo sabemos hasta que la determinamos y por eso lo llamamos dualidad onda-partícula.

DIA 5 – Comprendiendo la palabra indistinguibilidad y los 7 principios de la física cuántica

Nunca en mi vida había usado la palabra indistinguibilidad, se entiende, pero creo que muy pocas personas la llegan a usar en sus vidas diarias. Resulta que, podemos llegar a 7 principios que nos ayudan a comprender mejor el comportamiento de los experimentos de Bell sobre si la luz es onda o partícula.

De estos principios, puedo estar de acuerdo con la mayoría de ellos, pero sin duda alguna me sorprendí y hasta me estalló la cabeza, cuando el Dr. Lucio nos dio a entender que los experimentos en donde los fotones se comportaban como partícula era porque las historias o caminos que podía tomar eran distinguibles, o sea, fácil de saber por

dónde se pudo haber ido la luz. Pero cuando el experimento tiene múltiples caminos que pudo haber tomado el fotón para llegar a alguno de los detectores y no se puede determinar por cuál se fue, se dice que es indistinguible y, en este caso, la luz se comporta como onda. ¿A poco no les estalló la cabeza a ustedes también?

DIA 6 – Dios juega a los dados

Albert Einstein un día dijo su famosa frase de “Dios no juega a los dados”, refiriéndose a que la física cuántica no podía ser meramente aleatoria. Hoy, la mecánica cuántica es una de las teorías más exactas y comprobadas que tiene la humanidad, parece ser que después de todo, Einstein se equivocó y Dios si juegue a los dados.

En esta sesión pudimos obtener una probadita de probabilidad y estadística, y el cómo se puede aplicar a la mecánica cuántica para hacer un poco de “magia”.

Físicamente hablando, se puede llegar a la definición de superposición, es decir, que una partícula cuántica puede estar en varios sitios a la vez y no sabremos exactamente dónde está hasta que realicemos una medición sobre ella. Pero ¿Qué tiene que ver la probabilidad en todo esto? Tal vez no podamos saber exactamente dónde se encuentra la partícula en un momento dado, pero sí que podemos saber la probabilidad de encontrarla en algún sitio al medirla, dando un resultado de 1 al sumar todas las posibles probabilidades de donde pueda estar nuestra partícula. Increíble, ¿No lo creen?

DIA 7 – Experimentos doblemente duales

Hasta este momento los experimentos que habíamos analizado trataban de lanzar únicamente un fotón, entonces si se puede uno porque no usar 2 y probar que pasa cuando se lanzamos dos, para esto se puede establecer un sistema en donde conocemos a 2 nuevas personas en la vida, se las presento ella es Alice y él es Bob ellos nos ayudaran a hacer un nuevo experimento ya que para la física cuántica ya era más que aceptada la dualidad onda-partícula entonces se tenía

que probar más, la ambición de conocimiento siempre es muy grande así que se encontró lo que es el entrelazamiento al hacer estos sistemas con dos partículas. Y que sucede de que trata esto de entrelazamiento en palabras fáciles, si es que eso se puede hacer con la mecánica cuántica las propiedades de partículas entrelazadas dependen unas de otras, pero no pueden ser conocidas antes de ser observadas. A que se refiere esta afirmación, Bueno para explicarla acudiré a un pequeño diagrama sobre este experimento

Como podemos ver tenemos a nuestros amigos que conocimos Alice y Bob, bueno entonces lo que sabemos de esta configuración es que los fotones se emitirán en pares y a su vez estos saldrán en direcciones opuestas es decir si un fotón se dirige a LU el fotón compañero ira a RD y en forma análoga para RU-LD. Se generan pares de fotones al azar, ya sea LU-RD o RU-LD. Lo más interesante es que en el mundo cuántico, el sistema puede existir en una superposición de esos dos estados (LU-RD + RU-LD) de tal manera que, por ejemplo, antes de que Alice haga una medición puede detectar el LU o el RU con la misma probabilidad. Igual pasa con Bob. Sin embargo, podemos decir que al detectar Alice nosotros ya sabemos que por este entrelazamiento si Alice detecta el fotón en A1 el fotón que detectará Bob estará en B2, a estos resultados fueron lo que Einstein llamo "acción espeluznante a distancia".

Einstein se refería a esto porque no creía que algo así estuviera pasando como si esas partículas estuvieran conectadas de una manera de la cual no sabemos.

DIA 8 – Construyendo estados cuánticos

Todos hemos visto estos videos que se tira una cantidad de canicas y estas se agrupan en una forma de lo que las personas podemos decir una “montaña” lo que es en realidad esto es lo que en probabilidad se le conoce como Distribución normal, esto se puede comprender simple en un ejemplo midiendo cualquier cosa siempre habrá un promedio o datos que estén dispersos esta distribución trata de eso la cantidad de datos que encajen en cierto intervalo de valores, ejemplo midiendo las estaturas de un cierto grupo de personas que sus estaturas caigan en ciertos intervalos de altura por los cual tendrás más en estaturas promedio que es lo que se acumula en el centro y conforme las personas se alejen del promedio ya sea hacia abajo o arriba del valor se acolaran a los demás intervalos. Usaremos eso como medidas probabilistas en la mecánica cuántica. Lo que llamamos estados cuánticos es el estado físico que en un momento dado tiene un sistema físico en el marco de la mecánica cuántica porque en la física clásica, teóricamente, al medir una magnitud física en un sistema varias veces, obtendríamos un mismo valor, sin embargo, en la física cuántica, en teoría, al medir una magnitud física podríamos obtener un valor diferente cada vez que se mide. Por lo que, para estudiar los resultados de una medición cuántica, se recurre a lo antes mencionado distribución de probabilidad.

DIA 9 – Midiendo Qubits

Siempre se tiene la idea de que nuestra información que compartimos por medio de esta red global en la cual comúnmente habitamos es segura en cuanto a nuestras contraseñas y demás, si tan solo se supiera lo que se utiliza ahí es los bits clásicos como se ve en las películas unos y ceros que parecen interminables hasta el infinito, pero estos llevan ciertos mensajes y órdenes a nuestra computadora , mediante mediciones de voltajes, ahora bien estos mensajes se encriptan en palabras menores se hacen de cierta seguridad para poder trasladarse de un usuario a otro, pero como veíamos también esto es hasta cierto punto vulnerable si se tiene el suficiente capacidad de cómputo.

Entonces el concepto de qubit es tener ahora un ente el cual no solo tendrá lo de un bit clásico como lo es 1 y 0 si no que por las propiedades este podrá por principio de superposición estar en dos estados al mismo tiempo hasta que no determinemos que tome uno es decir lo que famosamente se le llama el colapso de la función de onda.

DIA 10 – Realidad y los proyectores

¿Existe la Luna cuando no la estamos observando? Esto era algo que aterrizzaba a Albert Einstein y una de sus posturas sobre lo que hacía esta interpretación de dos fotones lanzados y detectados por Alice y Bob los cuales cuando detectaba Alice ya sabias que en cual equipo iba a tener una detección Bob. Hay que recordar que antes de que Alice mida, Bob no puede saber en cual va a detectar, existe la misma probabilidad de detectar en B1 o en B2. Eso lleva al dilema sobre el espectador u observador (los detectores B1 y B2 pueden estar tan lejos como uno quiera, en otra galaxia, por ejemplo). Antes de que Alice mida, ¿el fotón que va a detectar Bob está en camino a B1 o a B2? Esto en sí mismo se le llamo algo como el problema de la realidad que nos hace cuestionarnos si en verdad el fotón está ahí antes de detectarlo o que pasaría si no hubiera detectores el fotón estaría en las dos posiciones a la vez, preguntas así son las importantes que hay que hacerse para llegar a las fronteras de la física como lo son estas preguntas mientras tanto darle a estudiar para poder llegar a algo más claro.

DIA 11 – No compartes mi polarización

Gracias al mundo cuántico se ha estado trabajando en grandes avances tecnológicos, uno de ellos es la información cuántica. Se está buscando aplicar las propiedades del mundo cuántico a la manera en la que nos comunicamos para hacer los canales más rápidos y seguros. A lo largo de la segunda mitad del siglo pasado los científicos se dieron a la tarea de aplicar la mecánica cuántica a estos canales de información, uno de ellos fue el famoso protocolo BB84, toda una joya de laboratorio en su época y que ahora está disponible

comercialmente. No es más que un canal donde se envían qubits desde una persona A hasta una persona B, se obtiene una llave a través de esto para descifrar los mensajes, y si el error generado por el ruido a través del canal está dentro de lo previsto, podemos decir que la conexión es segura, pero si se llega a superar ese margen de error, podría tratarse de algún espía que esté invadiendo nuestra privacidad y entonces ya no es seguro seguir utilizando esa llave, es entonces que se genera otra y así poder seguir comunicándonos tranquilamente. En nuestros días se están mejorando estos protocolos para que sea más eficiente y seguro, y quién sabe, tal vez algún día podamos hacer uso de estos canales cuánticos tan cotidianamente como lo hacemos con los canales clásicos actuales. Para tener una idea de la velocidad impresionante con la cual esta tecnología avanza pueden visitar la página <https://www.insidequantumtechnology.com/press-releases/> que es de una organización que provee información sobre tecnología cuántica.

Referencias

J. L. Lucio (2021) “Cuántica: el futuro de la información”. Seminario del grupo.

Barak Shoshany (2019). “Thinking Quantum”: Lectures on Quantum Theory; [arXiv:1803.07098](https://arxiv.org/abs/1803.07098) [physics.pop-ph]

Ish Dand (2018). Understanding quantum physics through simple experiments: from wave-particle duality to Bell’s theorem. [arXiv:1806.09958v3](https://arxiv.org/abs/1806.09958v3) [physics.ed-ph]

Popescu, S. Nonlocality beyond quantum mechanics. *Nature Phys* **10**, 264–270 (2014).

Scales, J. A. and Snieder, R. (1999). What is a wave?. *Nature*, 401(6755), 739-740.