

Young Photonics Congress



13 d'abril 2018
ICFO, Castelldefels

Trustees



Supported by



Distinctions



Member of



Llista de pòsters

Spectral analysis of different light sources using a low-cost homemade spectrometer	1	Román Via-Dufresne Saus
Com es poden millorar les probabilitats de guanyar en un joc usant fotons entrellaçats How to improve the probability to win a game by using entangled photons	2	Antoni Pech Alberich, Enrique Ríos Smits
Find The Quantum Rules For The New Technologies	3	Rut Francisco Salmerón
Òptica i naturalesa de la llum Optics and the nature of light	4	Jordi Piñol Febrero, Arnau Català
Hipertermia inducida por láser Laser-induced hyperthermia	5	Luna Ramiro Cuenca
Phablabs 4.0	6	Ferran Batllori, Víctor Maín, Joana Majó, Miquel Nasarre
Perquè Déu sí que juga als daus Why God plays dice indeed	7	Pablo Cerrato Serrano
El éter, la teoria que marcó a la física The ether, the theory that left a mark in physics	8	Pol Buitrago Esteve
Viabilidad de les veles solars Solar sails feasibility	9	Alejandro Corchón Franco
Estudio de los defectos cuánticos de los alcalinos y sus influencias en las series de sus espectros Study of the quantum defects of alkali elements and their influences on their spectral series	10	Núria Fàbrega Ribas
La dualitat ona-corpúscle de la llum The wave-particle duality of light	11	Gemma Serra de Paz
Les bateries de grafè Graphene batteries	12	Max Orpí Kirby
Una corba a anys llum A curve light years away	13	David Mazzanti Tarancón

<p>Quantum teleportation: explaining the process and clarifying misconceptions</p>	14	Astrid Mayné Arevalo, Gerard Marcet Carbonell, Laia Mayné Arevalo
<p>Fotònica aplicada a la medicina: Estimació i anàlisi del flux sanguini mitjançant l'ús de la tècnica DCS Photonics applied to medicine: Estimation and analysis of blood flow via the DCS technique</p>	15	Paula Sierra Varela
<p>La llum i l'univers. Ones gravitacionals. Light and the universe. Gravitational waves.</p>	16	Oscar Vaz Vázquez
<p>Llum i comunicació, la revolució quàntica Light and communication, the quantum revolution</p>	17	Blanca Mir Pou
<p>Nanotecnologia: El súper hidrofobisme Nanotechnology: superhydrophobia</p>	18	Cristina Lamas Jubinya
<p>El cel es vesteix de colors The sky dressing up with colors</p>	19	Sabitri València Guitart, Chaïmae El Hajjioui
<p>Supercondensadors, les bateries del futur Supercapacitors, the batteries of the future</p>	20	Martí Ricart Serrabassa
<p>Desviació de la llum en la llei de Lambert-Beer Light deviation in the Lambert-Beer law</p>	21	Ana García Franco, Carla Martí de Luis, Alba Arcalís Martínez, Maria Chico Gutiérrez

SPECTRAL ANALYSIS OF DIFFERENT LIGHT SOURCES USING A LOW-COST HOMEMADE SPECTROMETER

Román Via-Dufresne

Introduction

Color of light - electromagnetic waves - depend on its waves' wavelengths. Most light sources emit light waves of very different wavelengths.

A spectrometer is an instrument used to measure light spectrum, so it measures which wavelengths of a light source have more intensity.

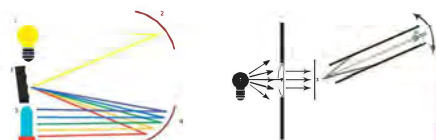
They are based on the diffraction property of light, used to split light into an array of separate wavelengths. Then, a light sensor is used to measure light intensity at each point, showing which wavelengths are more intense and which do not. Spectrometers work this way:

First of all, incoming light⁽¹⁾ that is going to be measured goes through a set of collimating lenses or mirrors⁽²⁾ that make all beams go in the same direction so then it can be diffracted. Otherwise, diffraction would not properly work.

Secondly, collimated light is diffracted by an instrument called diffraction grating⁽³⁾. This instrument separates light according to its wavelengths in an ordered way.

Finally, a light sensor⁽⁵⁾ measures light intensity at each wavelength and a spectrum graph is performed. Some more lenses and mirrors can be used between the diffraction grating and the sensor to focus diffracted light beams better.

The big problem of spectrometers is its cost (about 1000 €), so we will try to build a good inexpensive alternative.



Working diagrams of spectrometers with the parts mentioned above. Right image shows the diagram followed to build the homemade spectrometer.

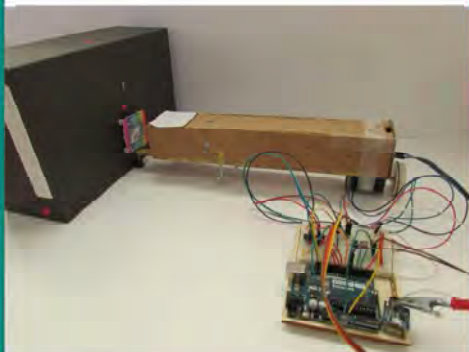
Materials and Methods

The spectrometer was controlled using an Arduino board, the sensor used was a TSL2591 and data was processed with Python3.

The collimating lens was placed in a cardboard box side so the only light that could reach the sensor had to pass through the lens. On the other side of the box the diffraction grating was placed, held with Blu-Tack.

The sensor was placed in a wooden rotating arm with the vertex of rotation right under the diffraction grating, so it could measure all wavelengths and calculate them precisely.

This rotating arm was moved by a 200 steps per revolution stepper motor, placed sideways at the end of it and with a plastic cap reinforced with wood so it worked as a wheel. The arm was also supported by two screw eyes and a nail was placed at its vertex of rotation. This nail would be placed in a plastic cylinder under the diffraction grating.



The stepper and the sensor were properly connected to Arduino and a circuit, with some more components, was built, as well as the code to control it.

The stepper would move one step, stop, wait for the sensor to perform a measurement (less than a second) and send data, essentially the number of steps done by the stepper and the intensity read by the sensor, to a Python 3 script, that outputted data on a live graph and in a csv file. This was done in a loop until the end of the measurements.

To know which wavelength its intensity was being measured, the script used the following formula:

$$\lambda = d \sin(\theta)$$

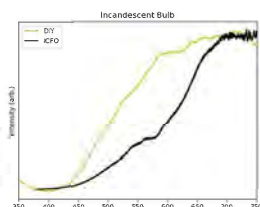
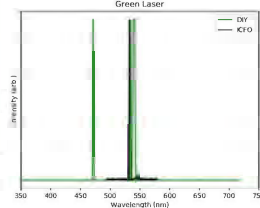
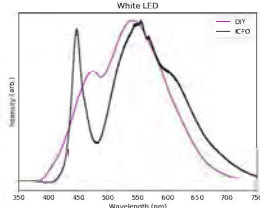
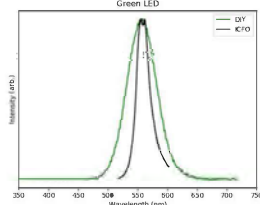
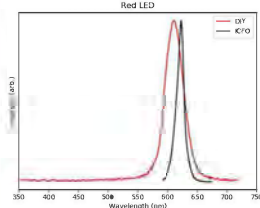
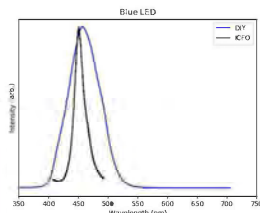
Where λ is wavelength, d is the diffraction factor (which depends on the diffraction grating and can be easily consulted) and θ is the angle from the perpendicular with the grating.

Results

The whole spectrometer was built with a total cost of 60.18 € and had the following specifications:

Voltage supply	4.5 - 5 V
Power up time	≈ 1 s
Detector	TSL2591
Dynamic range	600M:1
Analog gain	1x/25x/428x/9876x
Integration time	100 - 600 ms
Interface	Printer, microUSB
Grating	1000 lines/mm
Spectral range	200 - 750 nm
Temperature	-30 to 70°C
Resolution	≈ 1.4 nm
Precision	±30 nm

Six different light sources were measured and the results were compared with a Princeton Instruments Acton Series 2500i from ICFO (Institute of Photonic Science).



Conclusions

Results show that it was obtained a capable spectrometer, as its measurements spectra could be recognized against reference spectra from the professional one.

However, deeply analysing the results and extrapolating the technical specifications, precision (± 10 nm), along with the poor collimation effects, shows it is not good enough for its use at a professional level.

The improvements suggested in the paper (see further information), as calculating wavelengths with different methods or changing the radius of the wheel and the arm, could make it capable of being used in some amateur projects, as could give some approximate but reliable enough results.

The main application of this spectrometer could be educational: for school science projects and demonstrations. It is affordable for most schools and institutions and, as it is homemade, it could consist on a 'Making your own spectrometer' project.

However, we can consider the results pretty good in relation with the spectrometers prices, taking into account that a professional spectrometer may cost more than 1000 €, and this just costed 60.18 €.

Further Information

Further information, such as a table of materials used and a much deeper explanation of all concepts can be found in the paper of this project:

<https://drive.google.com/file/d/1Aojltnr-dt976l1zRG0Mudn2pNAFe2kA/view?usp=sharing>



References

D.A. Bromley and W. Greiner. Quantum Mechanics: An Introduction. Physics and Astronomy. Springer Berlin Heidelberg, 2000. isbn: 9783540674580.

L. Salasnich. Quantum Physics of Light and Matter: A Modern Introduction to Photons, Atoms and Many-Body Systems. UNITEXT for Physics. Springer International Publishing, 2014. isbn: 9783319051796.

G. Waldman. Introduction to Light: The Physics of Light, Vision, and Color. Dover books on physics. Dover Publications, 2002. isbn: 9780486421186.

D. Malacara. Handbook of Optical Engineering. Optical Science and Engineering. CRC Press, 2001. isbn: 9780203908266.

E.G. Loewen and E. Popov. Diffraction Gratings and Applications. Optical Science and Engineering. Taylor & Francis, 1997. isbn: 9780824799236.

Acknowledgements

First of all, I would like to thank Fundació Catalunya - La Pedrera giving me this opportunity and making all this possible.

I also want to thank Laia Francàs, Camilo Mesa, Davide Moia and Florian Le Formal for teaching me in Món Natura Pirineus and guiding me during this experience.

I specially thank Anna Reynal, who has been my tutor and has helped me and guided me during the development of this paper.

I want to thank Romain Quidant, Sergi Beltran and, specially, Gerard Planes for helping me with the measurements at ICFO.

I thank my father - Román - and my mother - Susana -, who have helped me in many situations during this project and who have always been supporting me.

Finally, I want to thank Xavier Bustins for introducing me to this world, without him, nothing of this would have been possible.

Fundació
Catalunya
La Pedrera

ICFO

Com es poden millorar les probabilitats de guanyar en un joc usant fotons entrellaçats

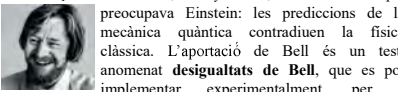
Antoni Pech Alberich i Enrique Ríos Smits
Institució Cultural CIC

Introducció

El 1930, Einstein estava descontent amb la teoria de la mecànica quàntica, i pensava que era incompleta perquè hi havia una certa probabilitat dins de les seves fórmules. Més tard, Einstein, Podolski i Rosen van formular la paradoxa d'EPR, que deia que el resultat d'una mesura produïda en un costat de l'univers influiria en un altre lloc de l'univers.

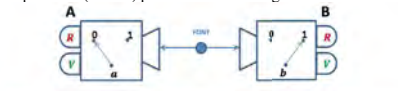


A aquestes situacions Einstein les va anomenar *spooky action at a distance*, i després, Schrödinger els va anomenar **estats entrellaçats**. John Bell, l'any 1964, confirma el que preocupava Einstein: les prediccions de la mecànica quàntica contradiuen la física clàssica. L'aportació de Bell és un test, anomenat **desigualtats de Bell**, que es pot implementar experimentalment, per a confirmar si la natura segueix les lleis de la mecànica quàntica o d'una teoria determinista local encara per descobrir.

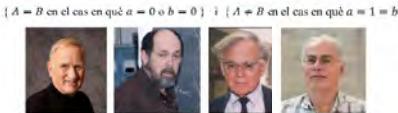


La mecànica quàntica
 $N(\theta_1, \theta_2) = \sin^2(\theta_1 - \theta_2)$
Desigualtat de Bell
 $N(30, -30) \leq N(30,0) + N(0, -30)$
 $3/4 \leq 3/4 + 3/4$

El 1969, Clauser, Horne, Shimony i Holt van proposar un experiment (CHSH) per entendre les desigualtats de Bell.



Desigualtat CHSH que mesura coincidències inesperades:
 $\{A = B \text{ en el cas en què } a = 0 \text{ o } b = 0\}$ i $\{A = B \text{ en el cas en què } a = 1 \text{ o } b = 1\}$

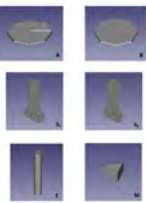


Nosaltres estudiem una reformulació de l'experiment CHSH en forma de joc cooperatiu de dos jugadors, l'Alicia i el Bernat. A cada partida un àrbitre els envia aleatòriament una pregunta a cadascú (a, b), que només pot prendre el valor 0 o bé 1. Les respostes possibles (A, B) també són 0 o bé 1. L'objectiu del joc és aconseguir, sense comunicar-se entre ells, combinacions guanyadores:

a	b	Combinació guanyadora
0	0	A = B
0	1	A = B
1	0	A = B
1	1	A ≠ B

Part pràctica

■ **Disseny i impressió 3D.** Hem construït un prototip del nou artefacte pseudo quàntic que hem inventat (programa FreeCad de disseny 3D; fitxers en format step, que ha imprès l'empresa HP de Sant Cugat).

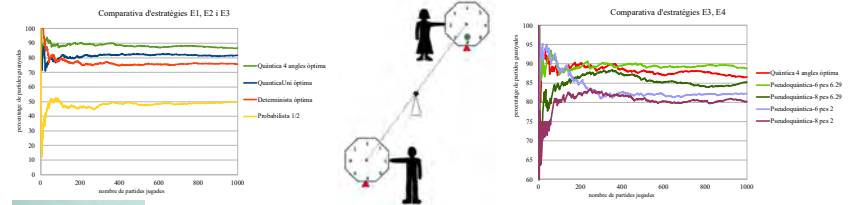


■ **Programació, simulació per computador i robòtica.** S'han realitzat diversos programes informàtics en C++ que simulen les diferents estratègies: l'usuari introdueix el nombre de partides que vol que es jugui i el programa retorna el valor d'una funció "marcador", que visualitza el tant per cent de partides guanyades. També s'ha simulat el joc sobre una placa Arduino (llenguatges IDE i Bitbloq).



Resultats

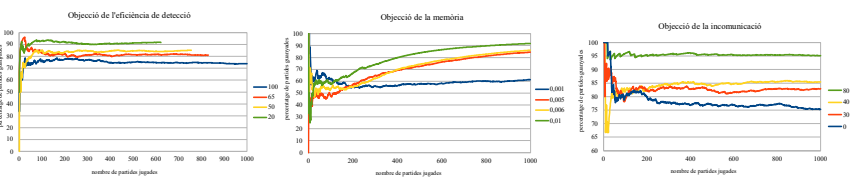
Aquest treball planteja diverses estratègies de joc, basades en propietats de la física clàssica i de la física quàntica. Les estratègies clàssiques que estudiarem són: (E1) **estratègies deterministes** (la resposta de cada jugador està determinada segons la pregunta rebuda), (E2) **estratègies probabilistes** (cada jugador dona una resposta amb certa probabilitat segons la pregunta rebuda), (E4) **estratègies pseudo quàntiques** (els jugadors usen un nou artefacte inventat, semblant a una ruleta trucada, que els indica la resposta que donaran) i **estratègies tramposes** (els jugadors fan trampes que simulen les objeccions que històricament han tingut els experiments tipus test de Bell). A les **estratègies quàntiques** (E3) els jugadors usen un hipotètic artefacte quàntic, basat en les propietats de l'entrellaçament quàntic (de fotons entrellaçats).



L'artefacte pseudo quàntic serveix per millorar les probabilitats de guanyar en el joc cooperatiu plantejat al treball de recerca. Pot assolir probabilitats de victòria més altes que el valor $3/4 = 0.75$ de les estratègies clàssiques, i fins i tot, més altes que les estratègies quàntiques òptimes. L'artefacte pseudo quàntic és una ruleta doble trucada que té un pes pseudo quàntic x en un dels costats del n -àgon que fa augmentar la probabilitat que surti com a resultat la parella de bits que es trobin en aquell costat. El pes pseudo quàntic x provoca que el costat trucat tingui probabilitat de sortir $1 + x/n + x$, mentre que la resta de costats té probabilitat de sortir $1/n + x$.

Estratègies tramposes que simulen les **objeccions o loopholes** històrics més importants als experiments tipus desigualtats de Bell:

- **Eficiència de detecció:** hi ha un percentatge de partides perdudes o guanyades que no es comptabilitzaran
- **Memòria dels fotons:** definim una variable "reforç de la memòria", que determina com varia la distribució de probabilitat dels diferents esdeveniments en funció de com ha anat la partida anterior. És una **estratègia d'aprenentatge automàtic**.
- **Incomunicació:** definim una variable, percentatge de comunicació, que determinarà la probabilitat que l'Alicia pugui comunicar al Bernat la pregunta que ha rebut.

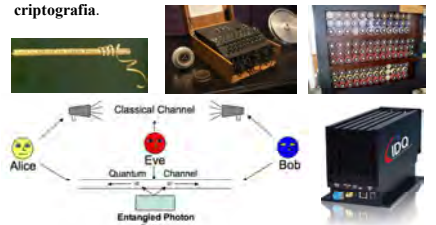


Conclusions

- Una estratègia determinista mai no supera la probabilitat de victòria $P(V) \leq 3/4$. Hi ha estratègies deterministes que l'assoleixen i la resta compleixen $P(V) = 1/4$. Cap estratègia probabilista supera aquesta fita, i algunes l'assoleixen.
- Hi ha estratègies quàntiques amb probabilitat de victòria major que $3/4$. Però no totes les estratègies quàntiques tenen una probabilitat més alta de guanyar el joc que la resta d'estratègies. N'hi ha amb probabilitat de victòria menor que algunes estratègies probabilistes i deterministes.
- S'ha estudiat una família d'estratègies quàntiques en funció d'un paràmetre α i probabilitat de victòria $P(V) = P(\alpha) = \frac{1}{4} + \frac{1}{2}(\cos^2 \alpha) + \frac{1}{4}(\sin^2(2\alpha))$: en $\alpha = 30^\circ = \pi/6$ s'assoleix el màxim $P(V) = 0,8125 = 13/16 > 3/4$.
- Hem formulat un artefacte quàntic de quatre paràmetres que assoleix la màxima probabilitat quàntica de guanyar el joc (fita de Tsirelson), que és $\cos^2(\pi/8) \approx 0,85355$.
- A l'estratègia d'aprenentatge automàtic, per valors equilibrats dels paràmetres, n nombre de partides i X reforç de la memòria, propers a $nX=1$, la simulació genera per si mateixa

distribucions de probabilitats semblants a les de les estratègies quàntiques.

- Les objeccions, errors o problemes en els experiments test de Bell poden explicar, per ells mateixos i dintre de la teoria de la física clàssica, les correlacions predites per la física quàntica.
- Es pot inventar un artefacte o una estratègia d'aprenentatge per a usar durant el joc que tingui un efecte semblant a l'entrellaçament quàntic.
- L'entrellaçament quàntic té repercussions en aparells i processos tecnològics del nostre entorn, especialment en **criptografia**.



Agraïments

El nostre treball de recerca va començar amb l'encoratjament d'alguns professors del CIC perquè presentéssim un projecte de treball de recerca a un concurs solidari organitzat per la fundació Richi Talent. La fundació Richi Talent ens va proposar diversos temes a escollir i la possibilitat de relacionar-nos amb diferents centres d'investigació importants. D'aquests temes proposats, el que més ens va cridar l'atenció va ser un tema de física quàntica proposat per l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO). Malauradament, no vam aconseguir passar la fase del Richi Talent de selecció de propostes de projectes, però la fundació Richi Talent ens van permetre que continuéssim mantenint contacte amb el centre d'investigació ICFO. Els investigadors de ICFO, Antonio Acín i Marta Garcia-Matos, van proposar que ens endinéssem dins d'una branca de la física quàntica anomenada desigualtats de Bell. Especialment, volem agrair indicacions valuosos que hem seguit a l'hora de desenvolupar aquest treball a Antonio Acín i a la Marta Garcia-Matos de ICFO, al Jordi Sama de la Universitat de Barcelona, al Jordi Tura Brugues del Max Planck Institute of Quantum Optics, i a la Maria Alberich-Carramiñana de la Universitat Politècnica de Catalunya. Per part de l'Institució Cultural del CIC volem agrair a la nostra tutora del treball de recerca, la Mireia Aran, l'atenció que ens ha dedicat, els ànims que ens ha donat, les propostes que ens ha fet i l'ajuda que ens ha ofert per a solucionar els problemes matemàtics que ens han anat sorgint.

Bibliografia

- A. Bojic, *A new quantum game based on CHSH game*, JQS, 37, 15-22, 2013.
- F. Clauser, M.A. Horne, A. Shimony, R. A. Holt, *Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories*, Physical Review Letters, 23(15): 880-884, 1969.
- L. Hernández Encinas, *La Criptografía*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Los libros de la Catarata, 2016.
- T. Hey, P. Walters, *The new quantum universe*, Cambridge University Press, 2003.
- N. D. Mermin, *Bringing home the atomic world: Quantum mysteries for anybody*, American Journal of Physics 49: 940-943, 1981.
- V. Scarani, *Física quàntica, interferències, correlacions i realitat*, Col. Hyperion, Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech.
- B. S. Tsirelson, *Quantum generalizations of Bell's inequality*, Letters in Mathematical Physics, 4(2): 93-100, 1980.
- M. Wilde, *From classical to quantum Shannon theory*, arXiv:1108.1445v7, Març 2016.

Introducció

Els temes sobre els quals parlarem en aquest Treball de Recerca, serviran per informar-nos i donar-nos una resposta a la hipòtesi. Concretament parlarem sobre com pot ajudar-nos la Física Quàntica a crear un objecte que pugui introduir la nostra ment en una altra realitat i poder viure noves experiències mentre el nostre cos continua a la nostra pròpia realitat, també observarem si és possible millorar les actuals ulleres de Realitat Virtual o si, contràriament, fa falta redissenyar-les amb l'ajuda de la Física Quàntica.

FIND THE QUANTUM RULES FOR THE NEW TECHNOLOGIES

Hipòtesi

És possible que la Física Quàntica ens ajudi a millorar les actuals ulleres de Realitat Virtual?

Bibliografia

- Llibre: Mundo cuántico; de Rafael Andrés Alemañ Berenguer
- Llibre: Física I; llibre de l'editorial Edebé, de 1r de Batxillerat
- Llibre: Física II; llibre de l'editorial Edebé, de 2n de Batxillerat
- ...

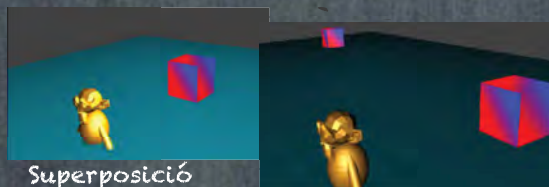
Realitat Virtual

Generalment la Realitat Virtual és un món virtual generat per ordinador o sistemes informàtics, en el qual l'usuari té la sensació d'estar en l'interior d'aquest món, i pot, fins a cert punt (actualment), interaccionar amb aquest.

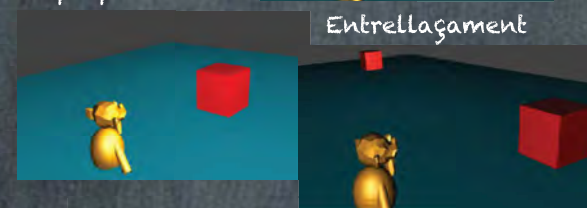


Videojoc

Codig QR per accedir a una mostra del videojoc en video



Superposició



Entrellaçament

Demostracions interactives quàntiques

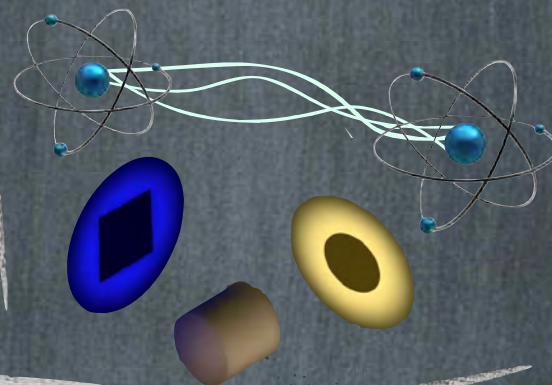
Física Quàntica

La física quàntica estudia el comportament de la matèria quan les dimensions d'aquesta són tan petites que comencen a notar-se estranys efectes com la impossibilitat de conèixer amb



exactitud la posició d'una partícula o simultàniament la posició i velocitat, sense afectar a la pròpia partícula.

Tres dels seus principis serien el Principi de Superposició, el Principi de dependència observacional i el Principi d'entrellaçament.



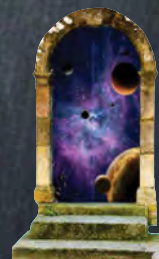
La resposta a la hipòtesi no és ni Sí ni No.

Les ulleres de Realitat Virtual actual tenen dos problemes; segons el meu punt de vista, essencials, aquests serien que per una banda provoquen problemes físics com serien marejos i per l'altre no ens proporcionen una immersió perfecta. L'ideal seria crear una tecnologia capaç d'enganyar la totalitat dels nostres sentits sense la necessitat de la utilització d'aquests en la realitat verdadera. Per poder generar una immersió ideal hauríem d'enganyar els sentits molt abans que els utilitzéssim en la verdadera realitat, per dur a terme

Conclusions

això la màquina hauria d'interactuar directament amb el cervell, la millor manera seria a través d'ones o polsos electromagnètics.

La part on introduiríem la Física Quàntica seria en el hardware, utilitzant sensors o processadors quàntics per tal de poder fer que el sistema funcionés el més ràpid possible i el pensament d'un moviment es reproduís en l'exacte moment que es pensa en la realitat virtual, seria la Física Quàntica la que ens permetria acabar de perfeccionar aquesta tecnologia, generant respostes immediates.



IMATGE PRODUDA PEL FENOMEN DE LA REFLEXIÓ (MIRALLS PLANS)

Aquest experiment consta de quatre miralls plans col·locats paral·lels dos a dos. A un costat es posiciona l'observador, i a l'altre costat un objecte que podrem observar. Com que el primer mirall està uns 45° inclinat, la visió del observador i la superfície del mirall formen un angle, el qual tindrà els mateixos graus que l'angle que formen la visió reflectida i la superfície del mirall. D'aquesta manera, el raig de llum de la visió va a parar al següent mirall, i així constantment fins a arribar a l'objecte.

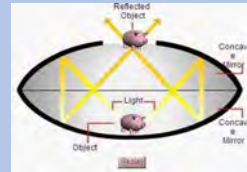
Si mirem a través del primer mirall podrem veure l'objecte perfectament, com si es tractés d'una sola lent, quan en veritat estem parlant d'un conjunt de miralls.



IMATGE PRODUDA PEL FENOMEN DE LA REFLEXIÓ (MIRALLS CÒNCAUS)

És necessari un joc de dos miralls còncavs, els quals un d'ells tingui un orifici al centre. També, un objecte petit que introduïrem a l'interior dels miralls. Quan portem a terme aquest experiment, podrem veure a la part superior dels miralls l'objecte que està a l'interior, gràcies al fenomen de la reflexió.

La llum entra per l'orifici i es reflecteix de tal manera al mirall inferior i, més tard al mirall superior, que la llum arriba a l'objecte. El viatge no acaba aquí, la llum continua el seu trajecte fins a sortir per l'orifici pel qual ha entrat, fent tal mateix camí però de manera inversa. La llum que entra pel forat sempre arribarà a l'objecte i acabarà sortint pel mateix forat, ja que el focus del mirall superior és on està posicionat l'objecte i el focus del mirall inferior és l'orifici. D'aquesta manera, nosaltres podem veure l'objecte a la part superior.



1704 TEORIA CORPUSCULAR

Aquesta teoria a diferència de l'anterior, suposa que la llum està formada per petites partícules. Newton era defensor d'aquesta teoria i tot i que no va aportar cap experiment per demostrar la seva hipòtesis, va ser acceptada per la comunitat científica degut a la gran fama de Newton.

1801 EXPERIMENT DE YOUNG

El metge anglès Thomas Young va realitzar un experiment que demostrava la naturalesa ondulatoria de la llum al observar un patró d'interferència provinent d'una font de llum que es fa passar per dues esclletes molt properes entre si.

1678 TEORIA ONDULATORIA

És la teoria que defineix la llum com un moviment ondulatori com el del aigua. Com que es sabia que les ones necessiten un medi per propagar-se, es va postular l'èter, al qual ocupava tot l'espai de l'univers i era per on les ones llumíniques es propagaven. El màxim exponent de la teoria ondulatoria va ser Huygens.

1865 ELECTROMAGNETISME

El físic escocès Maxwell va ser capaç d'unificar els fenòmens elèctrics i magnètics en el que ara coneixem com les equacions de Maxwell. Per un experiment realitzat per Heinrich Hertz es va demostrar que la llum es tractava d'una ona electromagnètica i que el seu comportament podia ser descrit per aquestes equacions.

TIMELINE

LA LLUM

ÒPTICA I NATURALSA DE LA LLUM

Jordi Piñol i Febrero
Arnau Català Sánchez

1924 DUALITAT ONA-CORPUSCLE

Broglie va formular la hipòtesis que afirmava que tota la matèria presenta característiques ondulatories i corpusculars, ara i aquestes es manifesten en funció de l'experiment que realitzem. Va ser capaç de relacionar la longitud d'ona associada a una partícula, amb el moment lineal d'aquesta, mitjançant la fórmula:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

1905 RESSOLUCIÓ E.F.

Einstein va aplicar la hipòtesis de Planck a l'efecte fotoelèctric i el va poder resoldre. Segons ell, l'energia dels fotons era transmesa als electrons per poder escapar del metall, si un sol fotó no tenia aquesta energia, es a dir, suficient freqüència, no podia escapar mal, per molta intensitat de fotons que hi hagués. D'aquesta manera Einstein va guanyar el premi Nobel el 1921.

1900 HIPÒTESIS DE PLANCK

Va ser una hipòtesis postulada per resoldre la catàstrofe ultraviolada i consisteix en interpretar la llum com a paquets discrets d'energia, que posteriorment s'anomenarien fotons, i que l'energia d'aquests fotons només depèn de la freqüència de la llum, seguint l'equació $E = hf$. Aquesta hipòtesis es va interpretar com un "truc" matemàtic, ja que no tenia sentit físic parlar d'energia quantitzada.

1887 EFECTE FOTOELÈCTIC

És un fenomen que consisteix en l'emissió d'electrons per part d'una placa metàl·lica quan aquesta és il·luminada per radiació electromagnètica. El problema és que l'emissió d'electrons només depèn de la freqüència de la llum amb la que il·luminem la placa i no de la intensitat de llum ni del temps, com descriuen les equacions de Maxwell.

IMATGE PRODUDA PER EL FENOMEN DE LA REFRACCIÓ (PIRÀMIDE HOLOGRÀFICA)

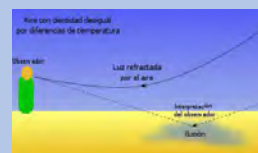
És necessari una piràmide hologràfica, que consta de quatre parets transparents, i un suport digital, que és una mateixa imatge repetida quatre cops. Quan portem a terme aquest "holograma", podem observar la imatge al interior de la piràmide a través de les parets, gràcies al fenomen de la refracció.

La llum que emeten les imatges surt de manera vertical fins que topa amb la paret de la piràmide. A causa de l'índex de refracció entre el plàstic i l'aire, i el grau d'inclinació de les parets, la llum canvia la seva direcció quan passa d'un medi a un altre, per això veiem la imatge dreta al centre de la piràmide.



IMATGE PRODUDA PER EL FENOMEN DE LA REFRACCIÓ (MIRATGES)

La llum del Sol incideix al terra i l'escalfa a causa de la radiació solar. Això fa que el terra emeti calor i escalfi l'aire que està més baix, provocant que l'aire calent estigui per sota de l'aire fred. Per tant, a l'aire apareixen diverses capes de diferents temperatures. El fet de que hi hagi diferents temperatures, provoca que la llum no viatgi en línia recta, ja que amb el canvi de densitats i temperatures al passar per diferents capes, varia també l'índex de refracció i la velocitat. Resumint, quan l'observador mira al terra, en veritat li està arribant la llum refractada per l'aire, no pel terra. Per això veiem una doble imatge, com si hagués una bassa d'aigua o un llac.



HIPERTERMIA INDUCIDA POR LÁSER

EL PAPEL DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ORO EN LA TERAPIA CONTRA EL CÁNCER



RADIOTERAPIA

QUIMIOTERAPIA

Provocan numerosos efectos secundarios



Debido a...

Uso de radiación ionizante y la toxicidad

¿En qué consiste?



Las nanopartículas de oro se adhieren a las células cancerosas y se irradia luz láser sobre ellas (frecuencia no ionizante). La energía fotónica es convertida en energía calorífica para, así, destruir el tumor.



Características de las nanopartículas	Longitud de onda láser	Tiempo de radiación, Valores de irradiación, Total energía por área.	Resultados	Ref.
Esféricas. 35 nm. Oro. Plasmón de resonancia: 520nm. Funcionalizadas con Anti-EGFR.	514 nm.	8 min. 19 W/cm ² 4.56 kJ/cm ²	Se necesita cuatro veces mayor energía para matar células normales en comparación con las células tumorales.	2003-2006. MR, El-Sayed Group.
Shell. 10 nm Shell, oro. 110 nm núcleo de sílice. Plasmón de resonancia: 820 nm. Funcionalizadas con Anti-HER2.	820 nm	7 min. 35 W/cm ² 14.7 kJ/cm ²	La muerte celular se limitó a la irradiaada con el tratamiento láser.	2003. Halas Group
Shell. Plasmón de resonancia: 800 nm. Funcionalizada con Anti-EGFR.	800 nm	4 min. 10 W/cm ² 2.4 kJ/cm ²	Se requiere la mitad de la energía láser para matar a las células malignas.	2006. El-Sayer Group.

PHABLABS 4.0

Ferran Batllori, Víctor Maín, Joana Majó, Miquel Nasarre
Escola Pia Nostra Senyora - Barcelona

PROJECTE PHABLABS 4.0

El projecte Phablabs 4.0 és un projecte europeu que té com objectiu introduir la fotònica als laboratoris de fabricació digital.

La llum és una eina molt versàtil, que no pot faltar als tallers dels *makers*: amb aquesta idea, cadascú dels onze socis del projecte ha creat tallers dirigits a estudiants de diferents edats i ha llançat un repte en col·laboració amb un FabLab local.

A Catalunya, l'ICFO s'ha associat amb el FabLab Barcelona i amb el Tinkerers Lab de Castelldefels.

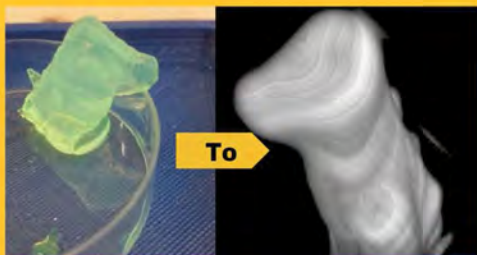


CHALLENGER

Hi ha manera de poder veure coses que estan amagades a dins d'un material fluorescent sense tocar-lo ni manipular-lo?

Poder trobar una resposta a aquesta pregunta seria genial, si pensem que aquest material podria ser el nostre cervell, per exemple. La llum és en aquest cas una eina fonamental per poder obtenir un model 3D d'un cos fluorescent per poder visualitzar què amaga adins.

El repte és construir un prototip que ens doni una imatge 3D d'una criatura d'agar agar fluorescent que amaga un cos no identificat a dins, amb l'ajuda de conceptes de fotònica i de eines de fabricació digital.



EL NOSTRE PROTOTIP

La nostra idea és il·luminar només una part de la mostra amb una fons de llum localitzada (un full de llum) i observar la fluorescència des de un costat. D'aquesta manera, obtenim una imatge d'un pla de la mostra. Si repetim aquesta operació escanejant la mostra, obtindrem imatges de tots els plans. Després, utilitzant programes informàtics ja creats per a aquesta tasca, podrem obtenir un model 3D de la criatura fluorescent on es veu el cos estrany que té a dins.



PERQUÈ DÉU SÍ QUE JUGA ALS DAUS

Pablo Cerrato Serrano
Institut La Serreta

OBJECTIUS DEL TREBALL

L'objectiu d'aquest treball era fer diversos experiments en relació amb el Test de Bell i la desigualtat de Bell. He portat a terme 3 petits estudis diferents:

- Test de Bell amb persones.
- Test de Bell amb fotons entrellaçats.
- Càlcul de probabilitat de manera matemàtica.

TEST DE BELL I DESIGUALTAT DE BELL

El Test de Bell és un experiment que va ser inventat pel físic irlandès John Stewart Bell amb l'objectiu de comprovar si les partícules es podien entrellaçar.

Aquest experiment va ser dissenyat de manera que quan mesurem els fotons o partícules entrellaçats, coincidiran més vegades en el resultat que si no ho estan.

Això es pot expressar de la manera següent:

$$-2 \leq S \leq 2$$

METODOLOGIA

Primer vaig adaptar l'experiment de Bell de manera que fos el més fàcil possible i que tothom el pogués fer. Per fer el Test de Bell amb fotons entrellaçats he fet servir l'ordinador quàntic d'IBM. És públic i pot accedir-hi tothom!

Link:

<https://quantumexperience.ng.bluemix.net/qx/editor>

RESULTATS

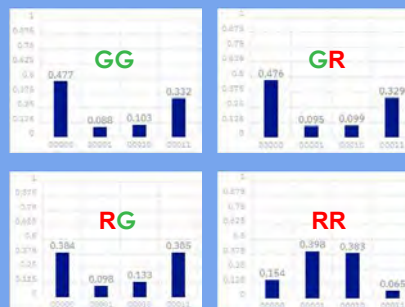
Test de Bell amb persones:

- **Tests de Bell fets:** 4.343.
- **Participants:** 131 persones.
- **Resultat:** 51.152%.



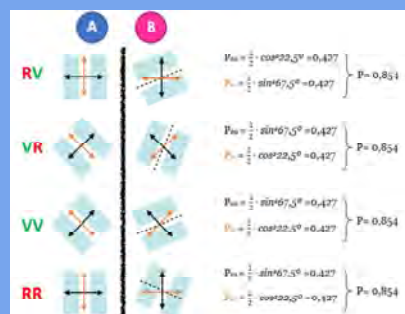
Test de Bell amb fotons:

- **Tests de Bell fets:** 32.768.
- **Participants:** 65.536 fotons.
- **Resultat:** 79.1%.



Càlcul de probabilitat matemàtic:

- **Resultat:** 85.4%.



AGRAÏMENTS

- Grup d'Informació Quàntica (GIQ) per la sessió de Bojos per la Física.
- Montse Mas per haver-me parlat de l'YPC i fer possible l'assistència.

PARTICIPA!

D'un a dos jugadors.

INSTRUCCIONS:

Rebràs un paper com aquest on hauràs de posar 0s i 1s en la casella 'respuesta'.

1 JUGADOR:

Emplena les caselles com vulguis amb 0s i 1s.

2 JUGADORS:

Abans d'omplir el test heu de pensar una estratègia que, un cop acabat el test i posats en comú els resultats, us ajudi a aconseguir el màxim d'encerts possibles tenint en compte la graella d'aquí sota.

	GG	GR	RG	RR
00	✓	✓	✓	✗
01	✗	✗	✗	✓
10	✗	✗	✗	✓
11	✓	✓	✓	✗

Com funciona la graella?

A la columna de l'esquerra trobareu totes les combinacions possibles entre el 0 i l' 1. El primer dígit correspon al jugador A i el segon al jugador B.

A la fila de dalt trobareu també totes les combinacions que poden sortir entre el 'green' i el 'red'. La primera lletra correspon al jugador A i la segona al jugador B.

Advertència!

- No es pot mirar el test de la vostra parella i recordeu que cada test té una combinació diferent de colors.
- Els daus és l'única cosa que teniu en comú.

El éter, la teoría que marcó a la física

Pol Buitrago Esteve
Escola Virolai de Barcelona

Introducción

Los conocimientos científicos que se tienen actualmente sobre la luz son bastante extensos, sin embargo, no hace mucho tiempo, a mediados del siglo XVII, esos conocimientos no eran muy avanzados. Por aquel entonces, dos teorías clásicas peleaban por descubrir la naturaleza de la luz. La teoría Corpuscular de Sir Isaac Newton y la Ondulatoria de Christian Huygens.

Newton propone que la luz está formada por pequeñas partículas, mientras que Huygens hablaba de una onda. Su teoría le permitía explicar varios fenómenos de la luz, de mejor manera, pero a su vez más compleja, que la teoría corpuscular de Newton. Para explicar la transmisión de la luz a través del espacio, Huygens utilizó un concepto llamado éter, un fluido ligero y elástico por el cual se propagaba la luz.

Con el tiempo, varios experimentos propagaron la creencia de éter. Una gran resistencia llegó con la publicación de la Teoría de la Gravitación Universal, la idea de que el cosmos fuera fundamentalmente vacío, y que los astros ejercieran fuerzas entre sí a distancia, hizo que muchos físicos supusieran que el éter era el responsable.

Sin embargo, las características de este hacían dudar de su existencia, ya que debería:

Ser un fluido que transmite ondas transversales capaz de atravesar cuerpos y no oponer resistencia, además de excesivamente elástico y tener una densidad inferior al helio.

Con el tiempo, el conocimiento fue avanzando y gracias a grandes eminentes figuras de la ciencia como James Clerk Maxwell, se demostró que la luz no necesitaba ningún medio para transportarse, capaz de propagarse en el vacío.

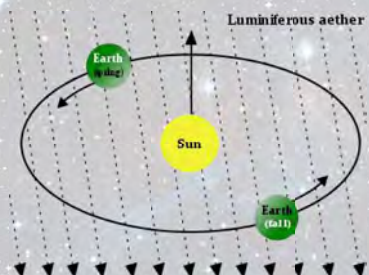


Fig 1: Representación esquemática del viento de éter

Metodología

Actualmente sabemos que la tierra recorre su órbita alrededor del sol a una velocidad de 30 km/s; asumiendo que el éter existiese, debería haber una variación en la velocidad de la tierra dependiendo de la parte de la órbita en la que estuviese, ya que durante una parte de su movimiento iría a favor del viento del éter, y durante la otra iría en contra del viento del éter.

Eso haría, al igual que un nadador en un río en contra o a favor de la corriente, que la velocidad variase dependiendo de la dirección en la que vaya la tierra respecto al éter.

Para medir esto, podemos utilizar un interferómetro de Michelson, al igual que hicieron Michelson y Morley en su experimento.

Referencias

Para la elaboración del presente trabajo, se han utilizado las teorías e ideas de *Christian Huygens*, *Sir Isaac Newton*, *Albert Abraham Michelson*, *Edward Williams Morley*, *James Clerk Maxwell* y *Louis-Victor de Broglie*.

Por igual se ha hecho mención o uso de las siguientes teorías:

- *Christian Huygens*. *Traité de la lumière*

- *Sir Isaac Newton*. *Law of universal gravitation*

- *Sir Isaac Newton*. *Opticks*

- *James Clerk Maxwell*. *Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*

- *Albert Abraham Michelson*. *Michelson ineterferometer*

- *Michelson-Morley*. *On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*

- *Wave - Corpuscle*. *Georgia State University, Department of Physics and Astronomy*.

Proceso y resultados

El propósito de Michelson-Morley, con su interferómetro, era medir la velocidad de la tierra respecto al éter. La idea era enviar dos haces de luz en direcciones perpendiculares, para que después regresasen y se proyectasen en un mismo lugar.

El aparato que usaron está formado por una fuente de luz monocromática que envía un rayo lumínico hacia un espejo semirreflectante. Esos dos haces, recorrerán la misma distancia, pero en diferente dirección, para luego reflejarse ambos en una pantalla o detector [Fig. 2].

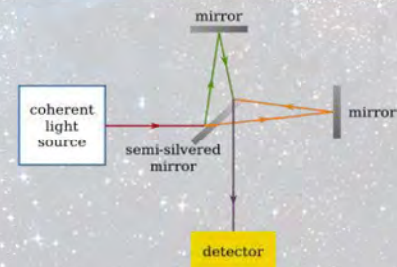


Fig 2: Esquema del interferómetro de Michelson

De manera que, cuando los rayos llegasen a la pantalla debería haber una variación entre esos dos haces, ya que ambos han sufrido de la corriente de este viento del éter. Eso haría que uno llegase antes que otro, ya que el éter influye de diferente forma en su movimiento [Fig. 1].

El patrón de la pantalla nos mostraría cualquier diferencia en esta velocidad (provocada por la diferente dirección de movimiento de la luz con respecto al movimiento del éter).

Aun así, cuando repetí el experimento, como hicieron Michelson-Morley, obtuve lo mismo que vieron ellos, que no hay ninguna interferencia. Es decir, que ambos haces han llegado al mismo tiempo sin ser influenciados por ningún éter.

Para comprender como debería ser el comportamiento teórico de la luz, en el caso de que existiera el éter, podemos analizarlo con el comportamiento de dos barcos. Supongamos que dos barcos cruzan un mismo río, uno cruza de un lado al otro de cada orilla, mientras que el otro, hace el mismo trayecto, pero manteniéndose en la misma orilla. Ambos se mueven a la misma velocidad y recorren la misma distancia, mientras que la corriente se mantiene constante también.

Interpretando la corriente como el movimiento de la tierra y el agua como el éter, entonces podemos comprobar como el éter debería influir en el movimiento de nuestros haces de luz (los barcos).

Asimismo, para hacer más fácilmente comparables los resultados del experimento mental, podemos utilizar un ejemplo con valores numéricos sencillos. Tomando de forma arbitraria los valores siguientes como datos de la analogía ($x = 2\text{Km}$, $V_r = 40\text{km/h}$, $V_b = 50\text{Km/h}$).

$$v_t = \sqrt{v_b^2 - v_r^2} = \sqrt{50^2 - 40^2} = \sqrt{2500 - 1600} = \sqrt{900} = 30\text{km/h}$$

$$t_t = \frac{(2x)}{v_t} = \frac{(2 \cdot 2)}{30} = \frac{4}{30} = 0.13\text{h} = 8\text{min}$$

$$t_l = \frac{x}{(v_b+v_r)} + \frac{x}{(v_b-v_r)} = \frac{2}{(50+40)} + \frac{2}{(50-40)} = \frac{2}{90} + \frac{2}{10} = 0.02 + 0.2 = 0.22 = 13.3\text{min} = 13\text{min } 18\text{s}$$

Agradecimientos

Agradecer la ayuda prestada a mi padre Salva y a mi madre Cristina, por su ayuda y apoyo durante el desarrollo del proyecto.

Al profesor Enric Pinto, por su orientación y ayuda en cada consulta, y al profesor José Luis Tourón, por su soporte y ayuda en este trabajo de investigación.



Conclusiones

En resumen, hemos podido comprobar que el éter no existe. A partir del interferómetro de Michelson hemos comprobado que no hay nada que influya en la velocidad de la luz, siempre será constante. Para demostrar que nuestros datos son correctos, podemos repetir el mismo experimento, pero moviendo un único brazo del interferómetro, para poder ver así un patrón de interferencia forzando nosotros que un rayo de luz llegué más tarde que el otro, y observamos una interferencia parecida a la que el éter causaría.

Además, gracias a la analogía Michelson-Morley [Fig. 3], comentada anteriormente, podemos analizar cómo sería el supuesto movimiento con el viento del éter.

Del mismo modo, a partir de simples cálculos vectoriales logramos apreciar como el recorrido transversal es siempre más rápido que el longitudinal, sin tener en cuenta los valores que se tomen.

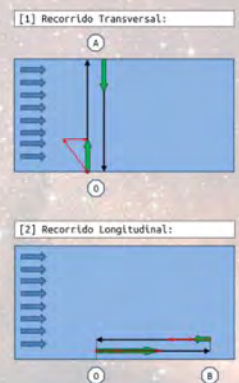


Fig 3: Diagramas de la analogía de Michelson-Morley

En definitiva, regresando otra vez al dilema principal, podríamos concluir que la teoría de Huygens era incorrecta, no obstante, no lo era del todo. Ni tampoco la teoría corpuscular. Ya que, en realidad, la luz tiene una dualidad onda-corpúsculo. A veces, cosas muy pequeñas, como protones o electrones, se comportan como partículas, y a veces como ondas.

Si por ejemplo soltamos un electrón, esté se propagará como una onda, pero en cuanto choque con una pared, estará en un único lugar; al fin y al cabo, solo has soltado un electrón.

Para hacernos una idea, si el sonido tuviera esta dualidad, cuando tu hablases tu voz se transmitiría como una onda, pero al chocar con una persona, esa sería la única que iba a oírte. De igual modo, en el mar, las olas se propagarían igual que antes pero solo romperían en un único lugar.

Aun así, el electrón sigue estando en nuestra onda y si lo buscas lo encuentras en un único lugar. La onda también te dice que probabilidad hay de que encuentres el electrón en un punto concreto.

En pocas palabras, cada partícula es guiada por una onda que además te dice la probabilidad de que se encuentre en un lugar determinado de ella. Y cuando algo le fuerza a determinarse, pasará de onda a partícula en un punto de la onda. Las probabilidades de la partícula de estar en un punto concreto de la onda, funcionarían como un campo de temperaturas, mostrándonos la probabilidad de estar en ese lugar.

Información adicional

La dualidad onda-corpúsculo, es un fenómeno cuántico comprobado. Que fue introducido por el físico francés Louis-Victor de Broglie, a principios del siglo XX.

VIABILIDAD DE LAS VELAS SOLARES

Alejandro Corchón Franco
Escola Virolai de Barcelona

Introducción

La vela solar es un método de propulsión espacial propuesto en 1925 por el físico soviético Konstantin Tsiolkovsky, que observó que utilizando inmensos espejos de finas capas se podría utilizar la presión solar para alcanzar velocidades cósmicas. Le siguió en 1929 el trabajo del Doctor J.D. Bernal, que sugirió que una forma de navegación espacial podría ser desarrollada usando el efecto repulsivo de los rayos del Sol en lugar del viento. Una nave espacial con grandes alas de muchos metros cuadrados de extensión podría ser impulsada hasta el límite de la órbita de Neptuno. Después, para aumentar su velocidad, navegar contra el viento solar como lo hacen los veleros navegando contra el viento, y aprovechar la asistencia gravitatoria del Sol, para luego desplegar la vela completamente una vez que ha pasado rápidamente el Sol. Por tanto, podría servir como sistema de desplazamiento cósmico en aceleración continua.

Sin embargo, el Doctor Paul Czysz señaló que esta forma de navegación solo se podría emplear para navegar con naves no tripuladas y viajes a los planetas interiores del Sistema Solar, debido a que la densidad de la radiación solar disminuye como el cuadrado de la distancia. [1]

El principio científico se basa en que, al igual que el viento impulsa a un barco gracias a la superficie de sus velas, se podría aprovechar la presión producida por las fuentes externas a la nave, como las presiones luminicas de la radiación solar, ondas electromagnéticas, fuentes láser o de microondas, o campos eléctricos o magnéticos interceptados del plasma del viento solar. Desde un punto de partida, las naves propulsadas por velas solares tardarían más de un día en alcanzar velocidades superiores a los 200 km/h, pero al obtener fuentes de propulsión ininterrumpidas, mantendría una aceleración continua, que en un principio permitiría alcanzar velocidades muy superiores a aquellas propiciadas por sistemas de propulsión convencionales.

Metodología

El objeto del trabajo será determinar el tiempo de desplazamiento desde la Tierra hasta Marte, con una carga estimada de 16,400 kg de la nave y tres astronautas. Lo primero será determinar la densidad superficial de fuerza sobre la vela de la nave. Tomando como punto de partida del viaje una posición en las cercanías de la Tierra, y sabiendo que la intensidad de la luz solar (irradiancia) en las proximidades de la Tierra es de 1366 W/m^2 , [2], y conociendo que v es la velocidad de los fotones que corresponde a la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$), podemos determinar la intensidad de la radiación dividiendo:

$$I = \frac{P}{S} = \frac{F \cdot v}{S}$$

Y llegamos a la conclusión de que la fuerza por unidad de superficie será:

$$f = \frac{F}{S} = \frac{I}{v} = \frac{1366 \text{ W/m}^2}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 4,6 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2 = 4,6 \mu \text{ N/m}^2$$

Teniendo en cuenta que la intensidad de la radiación disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia se obtiene que la aceleración en las proximidades de Marte es de 607 W/m^2 . Tomando un valor intermedio para la aceleración podemos encontrar que

$$v = \sqrt{\left(\frac{GM_T}{R_T + h}\right)}$$

Resultados

Puesto que la aceleración no es constante y cambia con la distancia debido a la disminución de la intensidad de la radiación, debemos determinar la irradiancia media a través del cálculo del valor de aceleración media. Podemos determinar la irradiancia en las proximidades de Marte (I_M) sabiendo que la irradiancia en las proximidades de la Tierra es de $r_{TS} = 1,5 \times 10^8 \text{ km}$, conociendo que la distancia Tierra-Sol es de $r_{TS} = 1,5 \times 10^8 \text{ km}$, y que la distancia Marte-Sol es de $r_{MS} = 2,28 \times 10^8 \text{ km}$, obtenemos que

$$I_M = I_T \left(\frac{r_{TS}}{r_{MS}}\right)^2 = 1366 \left(\frac{1,5}{2,28}\right)^2 = 591 \text{ W/m}^2$$

Se constata que la radiación en las proximidades de Marte es solo del 43% de la que había en las proximidades de la Tierra. A partir de ahí, podemos obtener una estimación de la aceleración media entre la Tierra y Marte, y determinar el tiempo de desplazamiento de la nave desde el punto de partida hasta el destino. Para ello, debemos utilizar la ecuación de movimiento uniformemente variado:

$$r = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

donde r es la distancia Tierra Marte, v_0 es la velocidad inicial de la nave, de unos 3.000 m/s. Para obtener que el tiempo estimado del viaje sería de 214 días.

Información Adicional

Una opción a las velas solares es crear un sistema de diodos láser altamente calibrados, que impulsarían las naves en línea recta.

Sin embargo, ha sido criticado debido a que ineficiencia energética sería de más del 20%, debido a la absorción atmosférica de los diodos, y el esparcimiento en la atmosfera de más de 1,2 GW por pulso energético.



Conclusiones

Dependiendo de la variación de la masa, obtendríamos una desviación de $2,69 \cdot 10^7$ a $3,28 \cdot 10^{25} \text{ m/s}$ en la velocidad de la nave, pero que a cifras absolutas en comparación con sistemas actuales de propulsión iónica supondrían una diferencia abismal entre el tiempo de viaje. Por ejemplo, enviando una sonda con tripulantes con una masa total de 16.400 kg tardaríamos un total de 214 días en realizar el viaje, mientras que con una masa de 1.000 kg, el peso total de la sonda del programa Curiosity, tardaríamos 183 días, que supone una diferencia de 69 días, y de un 28% en el tiempo de desplazamiento. Contrasta con la diferencia de que el módulo Curiosity tardó un total de 252 días (6.048 horas) en llegar a Marte, a una velocidad media de 37.202 km/h.

Hemos determinado que la velocidad de la nave en el momento de su llegada a Marte sería de $2,69 \cdot 10^7 \text{ m/s}$, y con una duración del viaje de 214 días. Estos datos nos permiten suponer que las velas solares serían una tecnología muy eficaz para desplazamientos de materiales por el Sistema Solar, en misiones tripuladas de forma remota.

Tanto los diseños de tres ejes como los "heliogiros" ahorrarían cientos de millones en combustible, que también abarataría el coste de lanzamientos y puesta en órbita de las sondas. En todos los casos, se darían velas compuestas por láminas radiales sujetas a grandes anillos o cuatro mástiles diagonales.

Con los datos que hemos obtenido, podemos determinar a ciencia cierta que podríamos realizar esos viajes en un periodo menor que el de una órbita de transferencia de Hohmann. En programas de exploración cosmológica nos permitiría reducir el peso al eliminar los propulsores de iones, y seguiríamos contando con la posibilidad de dirigir su trayectoria al determinar previamente las órbitas de transición y dirección del vector de empuje.

Referencias

Para la elaboración del presente trabajo se han utilizado las siguientes fuentes:

- [1] Paul A. Czysz. Future of Spacecraft Propulsion Systems and Integration
- [2] Cristopher Neufeld. The Physics of Solar Sailing.
- Larry Greenemeier. Voyaging to the Stars on a Solar Breeze: Space Sails to take Flight.
- Albert Einstein. Zur Elektrodynamik bewegter Körper
- Gregory L. Matloff. Deep Space Probes.

Agradecimientos

Agradecer la ayuda prestada a mi madre Ruth, a mi padre Gonzalo y a mi hermana Sonia por su ayuda constante en el desarrollo del proyecto.

A la Profesora Ana Garcia y al Profesor Jose Luis Tourón por su ayuda en cada momento de consulta y soporte en este trabajo de investigación.

ESTUDIO DE LOS DEFECTOS CUÁNTICOS DE LOS ALCALINOS Y SUS INFLUENCIAS EN LAS SERIES DE SUS ESPECTROS

Núria Fàbrega Ribas, Bachillerato Internacional, INS Jaume Vicens Vives, Girona

Teoría

Números cuánticos: valores que indican las características de los electrones en los átomos. En este trabajo se tienen en cuenta:

- **Número cuántico principal (n):** especifica el nivel energético del orbital.
- **Número cuántico azimutal (l):** determina el subnivel de energía en el que se encuentra el orbital.

Los electrones pueden realizar transiciones entre orbitales al emitir o absorber energía en forma de fotones. Cada fotón emitido creará una línea espectral, y el conjunto de líneas espectrales de un átomo concreto es llamado **espectro atómico**, el cual es distinto para cada elemento.

Ecuación de Rydberg: ecuación que permite calcular los valores para las líneas espectrales del hidrógeno:

$$\bar{\nu} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Añadiendo una variable, se puede calcular los valores de las líneas espectrales de los alcalinos: el **defecto cuántico** (a_m y b_m), la diferencia entre la energía de un orbital de un átomo y su respectivo en el hidrógeno:

$$\bar{\nu} = R \left(\frac{1}{(m - a_m)^2} - \frac{1}{(n - b_m)^2} \right)$$

$$\bar{\nu} = T_s - \frac{R}{(n - b_m)^2}$$

T_s se refiere al límite de la serie, el valor obtenido cuando n tiende a infinito.

Esta fórmula puede especializarse para cada serie espectral:

Serie *sharp*:
$$\bar{\nu} = T_{SS} - \frac{R}{(n-s)^2}$$

Serie *principal*:
$$\bar{\nu} = T_{PS} - \frac{R}{(n-p)^2}$$

Serie *diffuse*:
$$\bar{\nu} = T_{DS} - \frac{R}{(n-d)^2}$$

Metodología

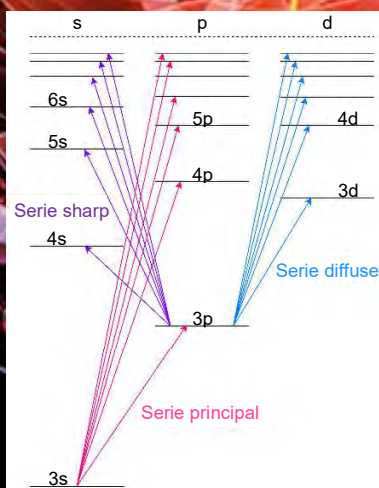
1. Obtención de los datos: se ha utilizado las transiciones entre los orbitales s y p del nivel de menor energía y los otros niveles, limitándose a los orbitales s , p y d y a los 10 primeros niveles, de los alcalinos exceptuando el francio.
2. Cálculo de los valores para los defectos cuánticos: se ha encontrado su valor a partir de aislar la fórmula anterior:

$$a_m = m - \sqrt{\frac{R}{T_s}}$$

$$b_m = n - \sqrt{\frac{R}{T_s - \bar{\nu}}}$$

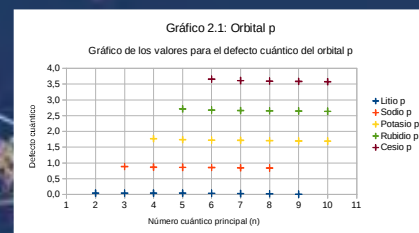
Se ha considerado T_s como la diferencia entre la energía de ionización del átomo y la energía del orbital en el que se encuentra el electrón.

3. Tabular los datos obtenidos.
4. Crear cuatro tipos de gráficos: dos dedicados a los defectos cuánticos y otros dos dedicado a las series espectrales.
5. Buscar tendencias en los valores obtenidos con ayuda de los gráficos.



Gráficos y conclusiones

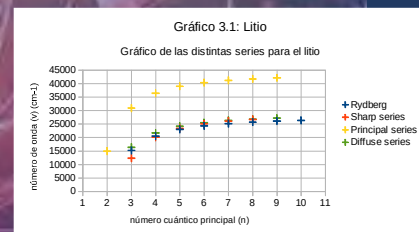
Se muestra un ejemplo de cada tipo de gráfico y las conclusiones llegadas con éste:



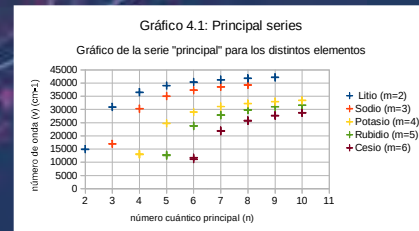
En un mismo orbital y elemento, hay muy poca variación del defecto cuántico. La variación entre elementos es bastante regular, con una diferencia de un valor cercano a 1, siendo inferior a éste en los orbitales s y p .



En un mismo elemento, el valor del defecto cuántico para el orbital s es mayor que para el orbital p , y éste mayor que para el d .



Las series *sharp* y *diffuse* convergen al tener un mismo límite: T_{SS} . La serie *principal* llega a una energía superior, al tener origen en un orbital s , más energético que el orbital p de las otras dos series.



Del litio al cesio, la energía de las series disminuye, pues el conjunto $(m - a_m)^2$ va aumentando progresivamente en cada elemento, al ser la variación de a_m ligeramente inferior a 1.

El defecto cuántico b_m sólo tendrá un efecto notable en los primeros niveles, y ayudará a intensificar la curva de las series espectrales.

Referencias

ERNESTO DE JESÚS ALCAÑIZ. La estructura electrónica de los átomos, http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/EQEM/tema_193.pdf

THE NIST REFERENCE ON CONSTANTS, UNITS, AND UNCERTAINTY. <https://physics.nist.gov/cuu/index.html>

Datos espectroscópicos de los alcalinos: <http://aip.scitation.org>

La dualitat ona-corpúscle de la llum

G. Serra
Institut Arnau Cadell (Sant Cugat del Vallès)

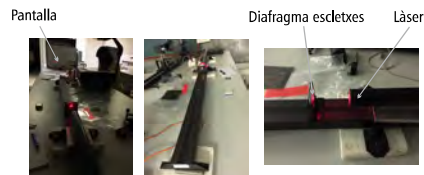


Introducció

Al llarg de la història hi ha hagut molts científics que han intentat descriure quin és el comportament de la llum. Mentre alguns d'ells defensaven que la llum es comporta com una ona, d'altres descrivien el seu comportament com el d'una partícula. Totes aquestes teories sempre han estat recolzades pels resultats de diferents experiments. L'objectiu principal d'aquest Treball de Recerca és descriure el comportament de la llum quan realitzem la versió quàntica de l'Experiment de la Doble Esclatxa de Young (Anglaterra, 1801), és a dir, quan la nostra font de llum és capaç d'enviar fotó a fotó enllot de tot un feix de llum. La part pràctica d'aquesta recerca consistirà en la realització d'ambdós experiments. Tant l'experiment quàntic com el clàssic els durem a terme al laboratori d'òptica de la Universitat Autònoma de Barcelona.

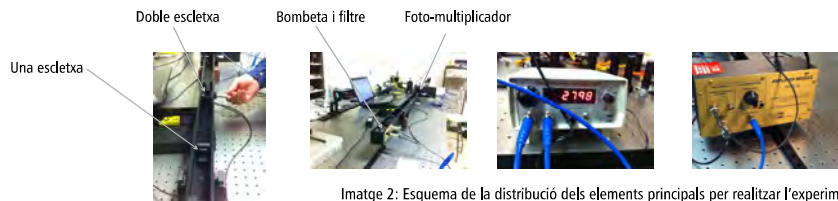
Materials i metodologia

- Primer de tot vam decidir dur a terme l'Experiment Clàssic de la Doble Esclatxa de Young per observar un patró d'interferència. Aquest experiment consisteix en enviar un feix de llum a una doble esclatxa i que es mostri el resultat a una pantalla que posem a l'altra banda de la doble esclatxa.



Imatge1: Esquema de la distribució dels elements principals per l'experiment.

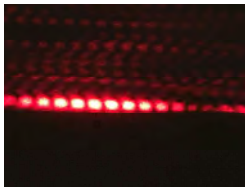
- Més endavant, vam realitzar l'Experiment Quàntic de la Doble Esclatxa de Young. Aquest experiment consisteix en enviar un sol fotó cada vegada a una doble esclatxa. Per tal de veure els resultats connectem l'aparell a un ordinador, ja que no som capaços de veure un sol fotó a simple vista.



Imatge 2: Esquema de la distribució dels elements principals per realitzar l'experiment.

Resultats

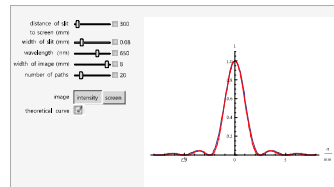
Experiment Clàssic:



El que podem veure en aquesta imatge és un conjunt de punts lluminosos que es veuen a la pantalla. Podem observar que es veu un patró d'interferència.

Imatge 3: Resultats de posar una doble esclatxa al diafragma.

Experiment Quàntic:



Gràfica 1: Resultats que es veuen al cap d'una estona.

El que podem veure en aquesta imatge és el resultat que veiem a la pantalla de l'ordinador al cap d'una estona d'enviar fotons un per un a la doble esclatxa. Podem observar que es veu la gràfica corresponent a la d'un patró d'interferència.

Comparació dels resultats:

Donades les observacions que hem realitzat podem concloure que quan s'envia una sola partícula de llum, és a dir, un fotó, a través de la doble esclatxa, aquest es comporta com una ona que, amb una determinada amplitud de probabilitat, ocupa tot l'espai. En sortir de la doble esclatxa les dues ones resultants, és a dir, les dues amplituds de probabilitat, interfereixen entre elles i diem que el fotó es troba en una superposició d'estats.

És per això que observem un patró d'interferència igual que en el cas clàssic.

Conclusions

Hem vist que si fem arribar un feix de llum a una doble esclatxa, el que veurem és un patró d'interferència a la pantalla.

En el cas d'enviar una sol fotó cada vegada, al cap d'una estona, tornarem a veure un patró d'interferència.

És un resultat, d'entrada, poc intuïtiu, ja que el que tendíem a pensar és que el fotó passaria per una esclatxa o per l'altra, però no per totes dues a la vegada.

Agraïments

Vull agrair a la Mariona Aspachs, que va ser la tutora d'aquest treball.
També agrair a en Jordi Mompert i en Todor Kirilov, tots dos professors a la UAB.

Max Orpí Kirby
Montessori-Palau (Girona)

Introducció

El grafè és un nou material format per molècules de carboni (és un al·lòtrop), obtingut l'any 2003 pels científics Konstantin Novoselov i Andre Geim, i molecularment, és una làmina d'un sol àtom de greixor amb àtoms de carboni hexagonalment disposats. El grafè va ser descobert a principis del segle XX a partir del grafit. Tot i que al principi es pensava que era exactament igual que el grafit, més endavant, diversos científics es van adonar que les seves propietats eren completament diferents del grafit, inclús semblava que aquestes havien augmentat d'una forma extraordinària. No va ser fins al 2010, set anys més tard, que van trobar la manera de posar a prova les seves propietats futuristes i produir quantitats molt més abundants; fet que els va fer guanyar el premi Nobel de física aquell mateix any.

Vocabulari

Electròlit:

Un electròlit és una substància la qual té electrons lliures, i per tant, condueix bé l'electricitat. Els electròlits més comuns són les sals, els àcids o les bases.

En el meu cas, he utilitzat una base com a electròlit, l'hidroxid de sodi.

Càtode:

Pol positiu d'una bateria o cel·la electrofòtica.

Ànode:

Pol negatiu d'una bateria o cel·la electrofòtica.

Al·lòtropia:

És la propietat que tenen certs elements químics d'aparèixer amb diferents característiques amb diferents estructures moleculars, però sempre, formats per àtoms d'un mateix element.

Resultats i conclusions

Els resultats obtinguts respecte a les propietats del supercapacitor de grafè han sigut molt bones, he aconseguit el suficient voltatge per a alimentar elèctricament un dispositiu que disposi de pantalla, ja que aquests necessiten 3.5 volts per funcionar (a excepció dels mòbils que requereixen més tensió elèctrica (volts) a causa de la seva sofisticació). Les bateries fetes d'al·lòtrops del carboni sostenen el futur tecnològic, i en un futur no gaire llunyà, potser les nostres vides depenen d'aquests compostos tal com ara mateix requerim l'ús de polímers.



Propietats



Duresa

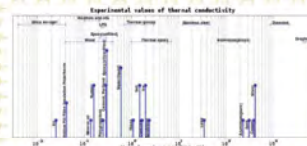
S'estima que la seva duresa és aproximadament unes 200 vegades la de l'acer, gairebé similar a la del diamant.

Elasticitat

El grafè presenta una elevada elasticitat. Això és degut al fet que molecularment els enllaços carboni-carboni formen xarxes en forma d'hexàgon.

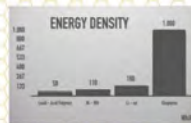
Conductivitat tèrmica

És un semimetall, però condueix molt bé la calor, unes 12 vegades millor que el coure.



Bon conductor de l'electricitat

Condueix molt millor l'electricitat que el coure, material que habitualment s'utilitza com a base dels cables. D'altra banda, té menor efecte Joule que el silici.



Transparent i lleuger

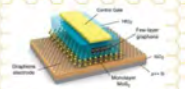
Es tracta d'un material molt lleuger (0.77 mil·ligrams/metre quadrat) i transparent (deixa passar el 97,7% de la llum que incideix sobre ell).

Aplicacions



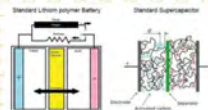
Electrònica

Es pot utilitzar per a la fabricació de microxips o transistors.



Sector energètic

Per les seves propietats energètiques, el grafè permetrà la creació de bateries de llarga durada que trigaran segons a carregar-se.



Indústria del blindatge

L'extrema duresa del grafè, la seva capacitat de modelar-se i a la seva lleugeresa, fa que sigui un compost ideal per ser utilitzat en aquesta indústria.

Materials i mètodes

Creació d'una bateria de grafè i carbó actiu.



Materials:

- Planxes d'alumini
- Cable
- Carbó actiu
- Grafè en pols
- Cinta adhesiva
- Paper amd alta densitat
- Electròlit (Dissolució d'hidroxid de sodi)

Eines:

- Tenalles d'acer
- Erlenmeyer
- Pipeta
- Comptagotes
- Matràs aforat

Procediment:

Creació de l'electròlit

L'electròlit per aquesta bateria és una dissolució de 4grams/mol de NaOH i aigua.

- 1.- Afegim 80 grams de NaOH a 0.5 litres d'aigua en un matràs aforat.
- 2.- Barrejem bé amb una vareta.

Creació del càtode i l'ànode

- 1.- En una planxa d'alumini, enganxem un cable amb cinta adhesiva.
- 2.- En un paper, afegim 9.95 grams de carbó actiu i 0.05 grams de grafè.
- 3.- Pleguem el paper per la meitat, introduint un cable entremig i seguidament, amb una pipeta, afegir 15 ml d'electròlit al paper.
- 4.- Pleguem la planxa d'alumini per la meitat amb el càtode dins. sellem les vores de la bateria amb cinta aïllat.
- 5.- Connectem la bateria a un multímetre i n'observem els resultats obtinguts.

Agraïments i Informació addicional

M'agradaria agrair l'ajuda de la meua tutora del treball de recerca, Mònica Rabert, per tots els seus consells; i a Marian Blanco, per l'oportunitat de participar en aquest congrés.

Per a més informació, podeu visitar el meu treball de recerca, "Els materials: De l'inici a l'actualitat":

[file:///C:/Users/Max/Downloads/El Materials-De l'inici a l'actualitat-%20Max%20Orp%C3%AD%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Max/Downloads/El%20Materials-%20De%20l'inici%20a%20l'actualitat%20-%20Max%20Orp%C3%AD%20(1).pdf)

Determinación de la curva de luz fotométrica de la estrella binaria DK Cygnus

David Mazzanti Tarancon
dmazzanti@alumno.santoangel.org

Col.legi Santo Angel
C/ les Bòbiles, 1
08850 Gavà (Barcelona)



Resumen

En este trabajo empleamos un telescopio ruborizado de aficionado, de gama media-alta y equipada con una cámara CCD refrigerada de uso astronómico, para determinar la curva de variación de luminosidad en función del tiempo, del sistema binario DK Cygnus en la constelación del Cisne. Debido a la alta sensibilidad de la cámara empleada, capaz de captar fuentes de luz muy débiles, hemos determinado la curva de luz con un grado de precisión similar al que se obtuvo anteriormente en observatorios profesionales. A partir de los resultados obtenidos hemos especulado sobre algunos aspectos de la órbita del sistema.

Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo son:

- Determinar la curva de luz de variación de luminosidad de la estrella variable DK Cyg.
- Comparar nuestros resultados con curvas de luz del mismo sistema determinadas por astrónomos profesionales.
- Emplear la curva obtenida para especular sobre algunos aspectos relacionados con la órbita del sistema binario.

Instrumentación

Este trabajo se ha realizado empleando el material siguiente:



Telescopio refractor TEC140 de 140mm de diámetro y 980mm de distancia focal



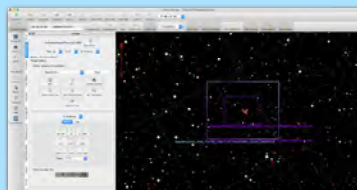
Montura robotizada Paramount MX



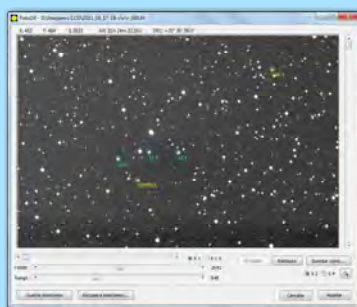
CCD Trius SX694, Autoguia Lodestar y Rueda Portafiltros Starlight Xpress.

Software de control y reducción

Software de control del telescopio: permite centrar el sistema en un objeto concreto del cielo y apuntar el telescopio a ese punto con un error inferior a 2" de arco



The SkyX Pro, Software Bisque



FotoDif (Julio Castellano)

Metodología

Conectando el ordenador y el telescopio a TheSkyX, hacemos que éste último apunte a la estrella DK Cyg. El mismo programa controla la cámara y permite tomar secuencias de imágenes del campo de DK Cyg a lo largo de la noche. Una vez con la secuencia de imágenes, usamos FotoDif para determinar la magnitud (=luminosidad) de esta estrella, en comparación con la de otras del mismo campo, que han sido escogidas sabiendo que su magnitud es constante y de valor conocido según de los catálogos astronómicos.



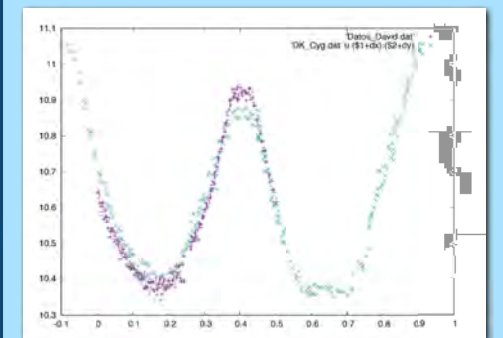
Determinamos los tiempos de mínima luminosidad (efemérides) mediante un programa propio escrito en **julia**

Construcción de la Curva de luz

Podemos juntar los datos obtenidos en distintas sesiones en una única curva de luz. El resultado de la figura siguiente corresponde a la magnitud de DK Cyg durante más de medio periodo.



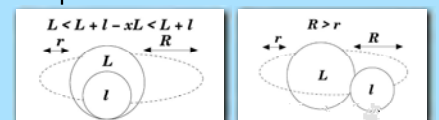
Comparamos nuestros resultados con los publicados por N.S.Awadalla en ASTRONOMY & ASTROPHYSICS, 289,137-140 (1994)



Observamos que la precisión de ambos sets de datos es similar. Las diferencias en ambas curvas se deben a que la curva profesional se ha obtenido empleando filtros fotométricos de banda estrecha (el V).

Modelo de la órbita

A partir de la gráfica, realizamos un modelo con los puntos más destacables de la órbita:



Situaciones orbitales del mínimo y cercana al máximo de luminosidad en la curva

Agradecimientos:
Tutor: Jose Antonio Sánchez Diosdado Asesor: Ferran Mazzanti

Quantum teleportation: explaining the process and clarifying misconceptions

Astrid Corina Mayné Arévalo, Gerard Marcet Carbonell, Laia Ariadna Mayné Arévalo

Introduction

Teleportation is usually thought of the destruction and respective reconstruction in another place of matter or energy. Quantum teleportation, however, is an information process where a unit of quantum information or qubit (analogous to the classic bit) is destroyed and reassembled in another location.

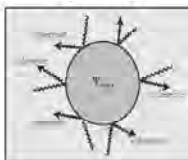
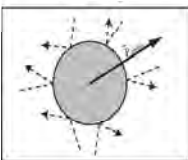
Quantum teleportation is the process that allows us to transfer quantum information using a pair of entangled qubits and two classical bits. The initial state we want to transfer will be destroyed to be reassembled later in another location.

Quantum states are very fragile due to its susceptibility to some phenomena like quantum decoherence for instance, which leads to a loss of information from quantum systems to the environment. For this reason, it is necessary to develop a process with the capacity of transmitting information as reliably as possible.

Quantum decoherence:

Classical physics

Quantum physics



In classical mechanics, the scattering of environmental photons onto a particle do not change its average motion. However, in quantum mechanics, this phenomena can lead to a loss of information into the environment.

Bell states & Bell state measurement

Entangled particles are particles capable of influencing one another instantaneously. For example let's suppose that two photons are entangled, when we measure the polarization of one, the other will always present the opposite direction of polarization.

This phenomenon can be described by the following equations, named Bell states.

$$|\Phi^{\pm}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0_2, 0_3\rangle \pm |1_2, 1_3\rangle)$$

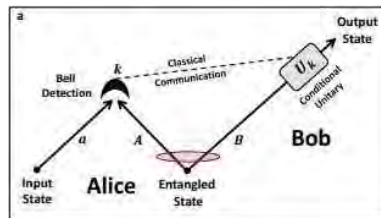
$$|\Psi^{\pm}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0_2, 1_3\rangle \pm |1_2, 0_3\rangle)$$

A Bell state measurement measures in which of the four states two particles are. However, if two particles are not in a Bell State, they project into one thus entangling.

Principles of quantum teleportation

Quantum teleportation begins when a sender, Alice want to send a qubit to Bob. To do so, Alice and Bob will share a pair of entangled qubits.

Alice will then make a bell state measurement on her qubit and the particle that shares with Bob. This will entangle them. Since entangled particles influence each other and Alice's and Bob's particles are entangled as well, Alice qubit will influence Bob's particle. This will now have the information required to reconstruct the initial state.



To reconstruct the initial state, Bob will need to know the outcome of the Bell state Measurement. This will be communicated using a pair of classical bits.

Common misconceptions

Entanglement correlations are instantaneous. However, these correlations cannot be used to transfer information instantaneously. This happens because two bits of classical information are needed to accomplish teleportation, and these cannot travel faster than light.

Moreover, the initial state is never cloned because its information gets destroyed when the Bell state measurement is made.

$$|\psi\rangle \not\rightarrow |\psi\rangle |\psi\rangle$$

Bibliography

S. Pirandola, J. Eisert, C. Weedbrook, A. Furusawa, and S. L. Braunstein, "Advances in quantum teleportation," Nature Photonics, vol. 9, pp. 641 EP -, Sep 2015, review Article.

M. A. Nielsen and I. Chuang, "Quantum computation and quantum information," American Journal of Physics, vol. 70, no. 5, pp. 558- 559, 2002

A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?" Physical review letters, 1935

Acknowledgments

We would like to thank ICFO for giving us the opportunity to present our poster in the Young Photonic Congress and to our families for their help during the development of the project.

Summary

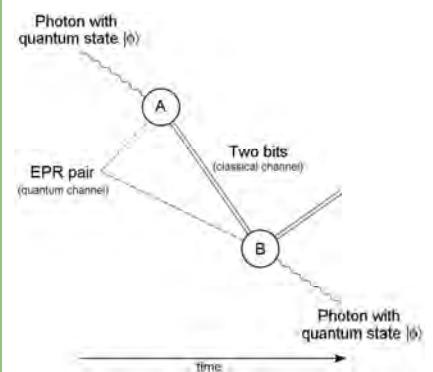
Quantum teleportation allows us to reliably send information through quantum channels using a pair of entangled particles.

The procedure can be broken down into three parts:

-Alice have an initial qubit and a pair of entangled particles shared with Bob.

-Alice performs a joint measurement that entangles her initial state with her entangled particle.

-The measurement outcome is communicated to Bob using classical bits, who performs a transformation on his particle to obtain Alice's initial state.



Furthermore, this technology has a lot of variants and alternate processes that have contributed a lot to the quantum telecommunication field. Some examples of these are: quantum repeaters, teleportation of continuous variables systems or quantum teleportation in networks among others.

Fotònica aplicada a la medicina

Estimació i anàlisi del flux sanguini mitjançant l'ús de la tècnica DCS

Paula Sierra Varela
INS. F.X. LLUCH I RAFECAS

Introducció

En el camp de la salut, la llum està prenent un paper important en el diagnòstic, tractament i prevenció de moltes malalties, així com la investigació de fàrmacs o la fabricació de dispositius mèdics.

Les propietats físiques de la llum són utilitzades per a mesurar paràmetres com la saturació d'oxigen o el flux sanguini. Hi ha moltes malalties importants on aquesta informació és rellevant degut a que els teixits necessiten oxigen per realitzar la respiració cel·lular i és el flux sanguini el que s'encarrega de distribuir-lo per totes les cèl·lules del cos.

La hipòtesi plantejada és si l'aplicació de la DCS a l'estudi del flux sanguini permet millorar el diagnòstic, tractament i prevenció de malalties vasculars sense danyar el teixit mitjançant l'ús de llum làser.



Materials i mètodes

Per comprovar si la meua hipòtesi és correcta, es realitza un mesurament de flux sanguini durant una oclusió del braç per obtenir dades del flux sanguini microvascular i els canvis en la intensitat lumínica relacionats amb el volum de sang.

El procediment experimental consta de tres parts:

- En una primera fase es realitza un mesurament de la pressió arterial i la freqüència cardíaca mitjançant un tensiòmetre.



- En segon lloc, es mesura el gruix del teixit adipós mitjançant un plicòmetre.



- Finalment es procedeix al mesurament del volum sanguini utilitzant la tècnica DCS.



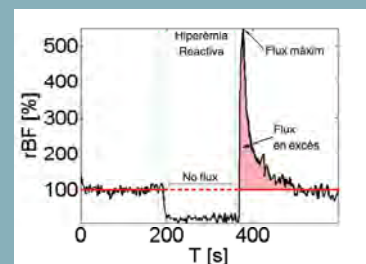
Resultats

La DCS permet obtenir mesures del flux sanguini en teixits musculars de forma no invasiva.

La pressió arterial, la freqüència cardíaca i el gruix del teixit adipós ajuden a adquirir una estimació més acurada dels paràmetres generals del pacient.

S'observa una resposta hiperèmica després d'un període d'oclusió arterial.

La monitorització del flux sanguini millora el diagnòstic, tractament i prevenció de malalties vasculars.



Conclusions

- L'ús de la llum permet obtenir informació sobre els paràmetres fisiològics i les propietats òptiques del teixit.
- L'ús de la llum comporta un tractament no invasiu, és segur.
- La tecnologia que utilitza la llum és portable i aplicable a moltes condicions.
- La DCS permet un mesurament del flux sanguini a temps real i, per tant, un diagnòstic, tractament i prevenció de malalties vasculars.

Agraïments

Agraïco la col·laboració del grup de investigació Medical Òptics de l'ICFO, així com al Programa de Suport per l'oportunitat de realitzar aquesta recerca. Agraïco també l'ajuda, disponibilitat i atenció de la meua tutora, que ha supervisat aquest projecte.

LA LUZ Y EL UNIVERSO

Ondas gravitacionales: El mensaje del Universo

INTRODUCCIÓN

A día de hoy sabemos que la luz es una onda electromagnética, y como tal, transporta energía además de interactuar con el medio. Dichas interacciones, consideradas como las propiedades de la luz, nos permiten estudiar nuestro entorno y sus perturbaciones. Con motivo a lo anterior encontramos la luz y sus aplicaciones en la mayoría de ámbitos de la ciencia.

Este trabajo de investigación se centra exactamente, en el campo del Universo y la aplicación de la luz sobre su exploración. Es así como se profundiza en las propiedades de la difracción e interferencias. El fin práctico considerado, es la medición del grosor de un cabello y el interferómetro de Michelson, para así entender mejor el concepto de ondas gravitacionales descubierta en el laboratorio LIGO.

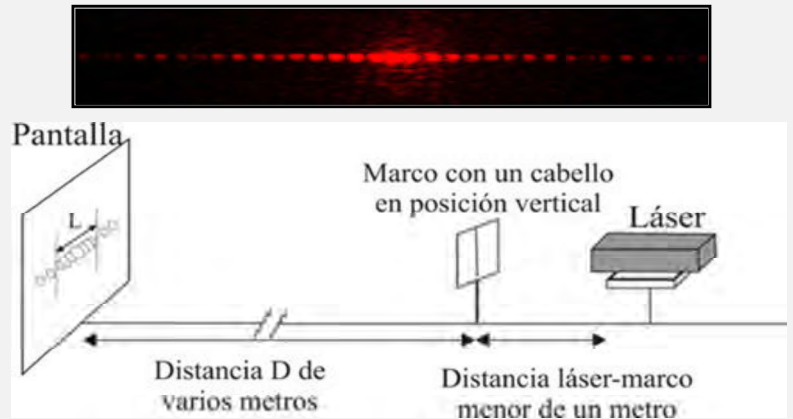
Se puede demostrar como a través del estudio de la luz se adquieren resultados increíblemente precisos además de aumentar nuestro conocimiento sobre el universo estudiando el espacio-tiempo y ondas gravitatorias.

CONCLUSIÓN

El objetivo de estudiar el interferómetro de Michelson se ha cumplido a la perfección. Podemos concluir que las ondas electromagnéticas son imprescindibles en nuestro día a día y que aunque sean las ondas gravitatorias las principales protagonistas en la astronomía actualmente, si no fuera por la luz no las detectaríamos. También podemos afirmar que cuando la física avanza, es un avance para la ciencia en general gracias a las aplicaciones que surgen en todos los ámbitos. Yo por ejemplo medí un pelo con un láser, lo que implica una precisión excepcional. Para finalizar cabe destacar que las ondas gravitatorias son transparentes en el Universo. Cada día nos acercamos más a los inicios del Big Bang y conocer lo que permanecía oculto comienza a ser posible.

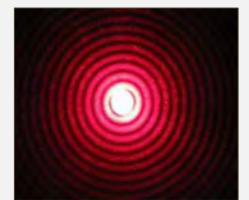
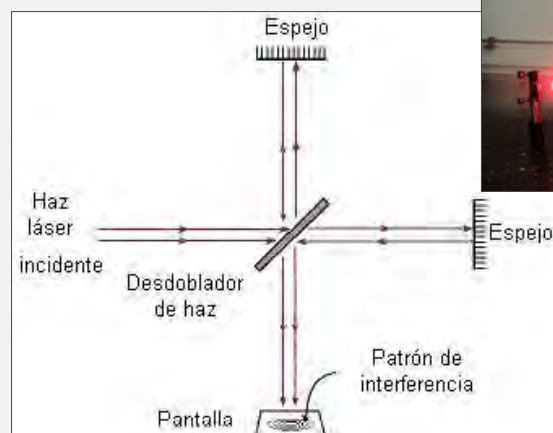
PRÁCTICA 1

La práctica consistió en la medición del grosor de un cabello a través de un rayo de luz visible láser y una pantalla. Mediante el patrón de interferencias, se realizaron los cálculos para concluir con una medición media de 0.087 mm de grosor. La práctica se realizó colocando el láser de tal forma que interactuara con el cabello para estudiar el patrón de Interferencias mostrado en la pantalla.



PRÁCTICA 2

En la segunda práctica realizada en el ICFO, realizamos un interferómetro de Michelson a escala reducida para comprobar la detección de las perturbaciones en el patrón de interferencias a través de un pequeño golpe cerca de la instalación del interferómetro. A través del estudio de las perturbaciones de las ondas gravitatorias podemos reconocer fenómenos producidos en el universo.



El interferómetro consiste en doblar un haz de luz láser y, a través de la reflexión de dicho haz, al combinar o superponer los dos fuentes de luz resultantes, a través de sus constantes variaciones de longitudes de onda, podemos estudiar el patrón de interferencias y sus perturbaciones. Estas perturbaciones es la información que nos revelan las ondas gravitatorias, detectadas por una onda electromagnética, del espacio y sus fenómenos.

INTRODUCCIÓ

L'ésser humà sempre ha sentit una gran fascinació per la llum. Les indústries relacionades amb la llum són autèntics motors econòmics.

Ens trobem en una segona revolució quàntica, que es basa en l'exploració de fenòmens quàntics com la superposició, l'entrellaçament quàntic o el principi d'incertesa.

Les lleis de la física quàntica ens asseguren que les comunicacions encriptades amb criptografia quàntica seran inviolables.

L'emissor envia informació encriptada amb una clau generada aleatòriament a través d'una fibra òptica o de l'aire. La seguretat d'aquest procés recau en la possibilitat de detectar un intrús que ha interceptat la comunicació.



MATERIAL I METODOLOGIA: POSAR LLUM DINS D'UNA FIBRA ÒPTICA

El primer pas consisteix en la configuració del mesurador de potència làser en una longitud d'ona de 635 nm.

El segon pas és col·locar el làser sobre una taula òptica, ara cal dirigir el raig de llum a l'interior de la fibra.

A continuació, es connecta un extrem de la fibra òptica al col·limador i l'altre extrem al mesurador de potència.

Es disposen els diversos miralls que reflecteixen la llum del làser en direcció al col·limador, de manera que la potència que indiqui el dispositiu sigui la major possible.

Un cop s'ha injectat la llum a la fibra òptica, es mesura l'eficiència del sistema òptic respecte a la potència de la llum de sortida de la font.



RESULTATS

Després de diversos intents s'ha assolit l'objectiu. La potència que indica el mesurador mostra que la disposició dels elements òptics del sistema és eficaç.

La potència òptica que arriba al mesurador equival a 0,716 mW. I la potència inicial del làser és igual a 1,2 mW. Les pèrdues de llum són aproximadament del 40% respecte a la potència òptica del làser.

ESTAT ACTUAL I APLICACIONS FUTURES

Hem vist experiments pràctics reals que utilitzen tecnologies quàntiques. Per exemple, la primera comunicació quàntica que va establir la Xina entre l'espai la Terra i l'ús de la criptografia quàntica en el *blockchain*.

AGRAÏMENTS

Gràcies a ICFO, sobretot a la Dra. Federica Beduini, al Dr. Marc Jofre i al Dr. Carlos Abellán. També a la meua tutora del treball de recerca, Camila Ramon.

LA PREGUNTA

Com podem millorar la seguretat de les comunicacions actuals?

OBJECTIUS

- Conèixer millor les aplicacions de la llum en les comunicacions
- Conèixer el paper dels làsers i la fibra òptica en la transmissió d'informació
- Entendre els principis de la mecànica quàntica aplicats a la comunicació
- Estudiar el paper dels nombres aleatoris en la criptografia quàntica
- Saber la diferència entre els conceptes de comunicació quàntica, criptografia quàntica i QKD
- Conèixer exemples d'aplicacions de la criptografia quàntica en el món actual

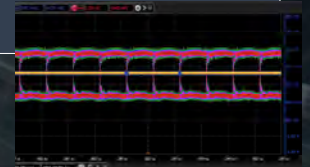
MATERIAL I METODOLOGIA: DETECTANT LA NO-ALEATORIETAT

El primer pas de l'experiment consisteix en la generació, mitjançant un QRNG, de tres tipus de senyals òptiques diferents: *raw*, *random* i *electronic noise*. Un làser emet els polsos de llum aleatoris i es fan interferir.

A continuació, un fotodetector origina un senyal elèctric (electrons) a partir dels fotons que conformen el pols de llum. El següent pas consisteix en la conversió de les dades en valors numèrics digitals.

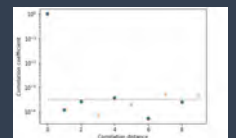
Per mitjà d'un comparador, s'agrupen els valors segons si estan per sobre o per sota d'un nivell determinat i s'assigna un valor per a cada grup. Posteriorment, es tradueixen els valors obtinguts al codi binari (0 o 1).

L'últim pas és el processament de dades on es demostra la diferència entre els tres tipus de senyals i es detecta si no hi ha aleatorietat, comparant el valor de la mitjana i la correlació de cada senyal. L'anàlisi de les dades es realitza mitjançant un programa escrit en Python.



RESULTATS

Existeix una diferència entre els tres tipus de senyals. Les dades que pertanyen als senyals *raw* i *electronic noise* no passen els tests de la mitjana i de la correlació. El senyal *random* ha passat ambdós tests, això significa que aquest senyal és un bon candidat per ser utilitzat en aplicacions pràctiques que requereixin l'ús de dades aleatòries.



CONCLUSIONS FINALS

- La recerca d'informació m'ha permès descobrir perquè els futurs avenços en computació quàntica desbancaran la criptografia clàssica actual.
- L'experiment sobre fibres òptiques s'ha assolit perquè les pèrdues de llum han estat reduïdes.
- Segons els tests, només el senyal *random* és compatible amb un comportament aleatori.
- L'aplicació dels protocols QKD amb l'estat de la tecnologia actual presenta limitacions pràctiques.



Nanotecnologia: El súper hidrofobisme

Autora: Cristina Lamas Jubinyà
Tutora: Laura Pujol Esteban
2n de Batxillerat
Curs 2017-2018



INSTITUT VESCOMTAT DE CABRERA

El treball tracta d'entendre més profundament què són les monocapes autoacoblades, com funcionen, i a partir d'això, crear teòricament un producte amb efecte súper hidrofòbic. A més, també he observat el mercat actual de productes que intenten imitar-ho, i he posat a prova la seva efectivitat.

Els objectius del treball són:

- **Entendre** el procés de fabricació d'una superfície súper hidrofòbica.
- **Crear** de forma teòrica i pràctica un producte súper hidrofòbic.
- **Trobar** quina és l'efectivitat de productes actualment al mercat en diverses superfícies.
- **Esbrinar** quina és la durada a curt termini d'aquests.

La metodologia que he emprat ha estat la següent:

Per tal de cobrir el meu primer objectiu, he hagut de realitzar recerca bibliogràfica i entrevistes, a part d'anar un dia al BB Construmat.

Per realitzar el meu segon objectiu, he hagut d'investigar a partir d'idees proporcionades per entrevistes i per l'estada al projecte Argó.

Pel tercer i quart objectiu, he hagut de realitzar proves amb un producte que una empresa amb la que vaig establir contacte al BB Construmat em va recomanar.

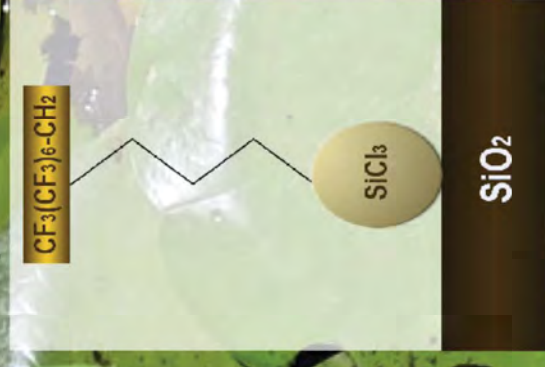
Les meves conclusions finals són

Hi ha superfícies súper hidrofòbiques a la naturalesa, però es poden crear de forma artificial a partir de monocapes autoacoblades i impressió làser.

Per crear de forma teòrica una superfície súper hidrofòbica, es pot realitzar un esquema d'una monocapa que podria ser útil. Per la creació pràctica, es pot cremar vidre.

El meu producte és molt eficaç en superfícies poroses, tot i que la seva màxima eficàcia és sobre el cuir, que és pel que està fabricat.

La durada a curt termini és millor al cuir que a les superfícies poroses, tot i que no deixa de tenir un efecte duraner sobre aquestes.



EL CEL ES VESTEIX DE COLORS

Com influeixen les variables de caire electromagnètic en la formació i les característiques finals d'una aurora?

Chaïma El Hajjoui – Sabitri Valencia
(Institut Joaquina Pla i Ferreras – Sant Cugat del Valles)

COM ES FORMEN LES AURORES?

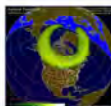
- Erupció solar → partícules carregades formen el vent solar
- Partícules canalitzades pel camp magnètic solar
- Vent solar atrès pel camp magnètic de la Terra
- Les partícules xoquen amb molècules d'oxigen i de nitrogen
- Energia de col·lisió excita els àtoms
- Els àtoms retornen al seu nivell d'energia original
- Retorn de l'energia en forma de llum

És l'aurora polar!



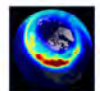
ON ES FORMEN LES AURORES?

- Ovals aurorals
- Altitud 100-300 km → atmosfera més densa
- Activitat solar gran → oval auroral gran
- Part estreta → costat diürn
- Zones més freqüents:
 - H. Nord: Alaska, Canadà, Groenlàndia, Islàndia, Escandinàvia i Sibèria
 - H. Sud: Antàrtida



QUAN ES FORMEN LES AURORES?

- Només depenen de l'activitat solar
- de dia i de nit, a qualsevol època de l'any
- fenòmens poc lluminosos
- També l'primavera
- Freqüència: 240 nits/any
- Previsió:
 - SCIN2: envia imatges d'instruccions solars
 - Index Kp sobre l'activitat geomagnètica del Sol



PETITES AURORES AL NOSTRE VOLTANT



- Similitud:**
 - Diferència de potencial → Camp elèctric intens
 - Els electrons són atrès per l'electrode positiu
 - Els electrons xoquen amb els àtoms del gas i els exciten
 - Els àtoms retornen a la seva energia inicial
 - La descàrrega provoca la lluminositat
- Diferència:** no hi ha la presència d'un camp magnètic



- El vermell → gas neó
- El blau → gas argó

CONCLUSIÓ

RESPOSTES A LES PREGUNTES D'INVESTIGACIÓ

Com influeixen les variables de caire electromagnètic en la formació i les característiques finals d'una aurora?

- Com afecta el camp magnètic terrestre a la posició de les aurores?
Les aurores sempre es formen en els pols magnètics
- Com varia l'amplitud de l'oval auroral en funció de la intensitat del camp magnètic?
L'amplitud de l'oval auroral serà més gran com més intens sigui el camp magnètic
- Com varia la brillantor d'una aurora en funció de l'activitat del vent solar?
L'aurora brillava més com més alt sigui el voltatge
- Com varia el color d'una aurora en funció del tipus de molècules de la col·lisió?
El color de les aurores és diferent segons les molècules de gas que xoquen amb els electrons

PREGUNTES D'INVESTIGACIÓ I HIPÒTESIS

Com influeixen les variables de caire electromagnètic en la formació i les característiques finals d'una aurora?

- Com afecta el camp magnètic terrestre a la posició de les aurores?
- Com varia l'amplitud de l'oval auroral en funció de la intensitat del camp magnètic?
- Com varia la brillantor d'una aurora en funció de l'activitat del vent solar?
- Com varia el color d'una aurora en funció del tipus de molècules de la col·lisió?

OBJECTIUS D'INVESTIGACIÓ I METODOLÒGICS

- Objectius de recerca:**
 - Validació de les hipòtesis
 - Comprovació de la viabilitat de la simulació
- Objectius metodològics:**
 - Realització d'entrevistes a experts
 - Experimentació directa amb la Planetterella
 - Creació d'unes "petites aurores"
- Objectius de marc teòric:**
 - Caracterització d'una aurora:
 - Què és?
 - On es forma?
 - Quan es forma?
 - Previsió → la Meteorologia Espacial
 - Estudi dels factors físics i químics
 - Com es forma?
 - Classificació dels colors i formes

METODOLOGIA

- Recollida d'informació:**
 - Cerca bibliogràfica i webgràfica
 - Entrevistes a experts
- Cerca experimental:**
 - Tra del dispositiu Planetterella
 - Laboratori de Planetologia de la UIFG
 - Laboratori de Física de la UAF
- Disseny i construcció de "petites aurores":**
 - llums de neó

SIMULACIÓ D'UNA AURORA POLAR: LA PLANETERRELLA



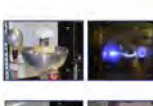
- Dr. Jean Lilensten – Meteorologia Espacial
- Aurores blaves de Mart
- Va idear la Planetterella → simulador d'interaccions entre aurores i planetes
- Petita xarxa de Planetterelles



Simulació dels ovals aurorals amb la Planetterella i imatges reals

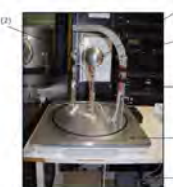


AMPLITUD DE L'OVAL AURORAL EN RELACIÓ A LA INTENSITAT DEL CAMP MAGNÈTIC



- OBJECTIU:** Amplitud de l'oval auroral ↔ intensitat del camp magnètic
- HIPÒTESIS:** L'amplitud de l'oval auroral serà més gran si la intensitat del camp magnètic és més gran
- EXPERIMENTS:**
 - 1r: Imatges originals → oval auroral original
 - 2o: amb la metàl·lica d'elements → oval auroral considerablement més petit
- CONCLUSIÓ:** L'amplitud de l'oval auroral és més gran si la intensitat del camp magnètic és més gran

DESCRIPCIÓ I PREPARACIÓ DE LA PLANETERRELLA



- DESCRIPCIÓ**
 - Esfera d'acer gran imantada → la Terra
 - Esfera d'acer petita → el Sol
 - Un electrodo → vent solar
 - Campana i plat del buit → connexions elèctriques
 - Bomba per fer el buit
 - Font d'alimentació d'alt voltatge
- PREPARACIÓ**
 - Neteja de les boles d'acer
 - Col·locació imants
 - Alineació de les esferes
 - Col·locació campana

RELACIÓ DEL VOLTATGE AMB LA BRILLANTOR DE L'AURORA



- OBJECTIU:** Brillantor de les aurores ↔ intensitat del corrent. Es simula la quantitat de partícules ionitzades → activitat del vent solar
- HIPÒTESIS:** Com més intensitat de corrent hi hagi més gran serà la brillantor
- EXPERIMENTS:**
 - 1r: Intensitat de corrent de 10.000 V → 233 lux
 - 2o: intensitat de corrent de 8.000 V → 227 lux
- CONCLUSIÓ:** Descomentat la intensitat de corrent es reduïx la brillantor de l'aurora.

SIMULACIÓ DE L'OVAL AURORAL I DEL CINTURÓ DE VAN ALLEN



- OBJECTIU:** Simular els ovals aurorals i el Cinturó de Van Allen
- HIPÒTESIS:** Un flux de llum anirà des de la cua fins l'esfera gran. Als pols magnètics de l'esfera gran es formaran els ovals aurorals que delimitaran el Cinturó de Van Allen.
- EXPERIMENT:**
 - Es fa el buit a la campana i s'engega el corrent elèctric
 - Un flux d'electrons que es dirigeix cap als pols de l'esfera
 - Un anell brillant de color porpra envolta cada pol
 - Un nivell de llum molt tènue envolta la Terra
- CONCLUSIÓ:** El flux d'electrons s'ha dirigit cap als pols de l'esfera gran → els ovals aurorals. Els ovals aurorals delimiten un embocallat de llum → Cinturó de Van Allen

ESTUDI DE L'ESPECTRE DE LLUM DE LA PLANETERRELLA DE GRENOBLE



- OBJECTIU:** Estudiar l'espectre de llum de la Planetterella de la UIFG per identificar els gasos presents en el seu interior.
- HIPÒTESIS:** Presència de nitrogen i d'oxigen, components principals de l'aire
- EXPERIMENT:** Es considera la lectura de l'espectre mesurat a la Universitat de Grenoble i es compara amb un espectre auroral típic → H_γ entre els 480 nm i els 475 nm de longitud d'ona i H_β al voltant dels 630 nm de longitud d'ona.
- CONCLUSIÓ:** Els components dominants dins de la Planetterella són els nitrogen i l'oxigen

EL COLOR DE L'AURORA EN FUNCIÓ DEL TIPUS DE GAS



- OBJECTIU:** Naturalesa del gas ↔ color de l'aurora formada.
- HIPÒTESIS:** Els colors de les aurores simulades seran diferents segons el gas:
 - (N₂) → aurora porpra i (CO₂) → aurora blava
- EXPERIMENTS:**
 - 1r: Gas nitrogen → aurora porpra
 - 2o: Gas diòxid de carboni → aurora groga
- CONCLUSIÓ:** S'han distingit diferents colors segons el gas:
 - (N₂) → aurora porpra i (CO₂) → aurora groga → RESULTAT INESPERAT

POSICIÓ DE L'AURORA EN RELACIÓ A L'ORIENTACIÓ DE L'EIX MAGNÈTIC



- OBJECTIU:** Posició de les aurores ↔ posició de l'eix magnètic
- HIPÒTESIS:** Les aurores sempre es situaran en els pols magnètics
- EXPERIMENTS:**
 - 1r: eix magnètic vertical (90°) → pol magnètic
 - 2o: eix magnètic inclinat (45°) → pol magnètic
 - 3r: eix magnètic horitzontal (0°) → pol magnètic
- CONCLUSIÓ:** Les aurores sempre es formen al voltant dels pols magnètics

ELS SUPERCONDENSADORS, LES BATERIES DEL FUTUR

Martí Ricart Serrabassa
La Salle Manlleu
2n de Batxillerat

INTRODUCCIÓ

Partint de l'interès per la física i la tecnologia es va voler fer un treball sobre aquesta temàtica. Es va contactar amb l'ICFO i l'ICMAB i es va decidir fer-lo sobre els supercondensadors. Es va posar com a objectiu principal intentar trobar el millor supercondensador de grafè possible.

UNA MICA DE TEORIA...

The collage includes several diagrams and images:

- Supercapacitors:** A mind map showing applications (energy storage, power source), classification (pseudocapacitors, double-layer), and a comparison of energy density between supercapacitors and batteries.
- Graphene:** A diagram showing the structure of graphene and its applications in various fields.
- Lasers:** A diagram explaining the principle of a laser (stimulated emission) and its applications in medicine, industry, and research.
- Microscopy:** A diagram comparing different microscopy techniques (SEM, TEM, AFM) and their uses in material science.
- Other diagrams:** A diagram of a double-layer capacitor, a diagram of a porous paper separator, and a diagram of a double-side coated electrode.

INVESTIGACIÓ

En aquest treball s'ha realitzat una investigació extensa a partir de la creació de mostres. Aquestes han estat analitzades de manera acurada i a partir d'aquí s'han intentat extreure una sèrie de resultats i conclusions.

Les mostres són en una concentració del 2.5% de GO en àcid acètic. S'ha utilitzat un sistema d'irradiació làser per píxels per tal de sublimar les partícules d'oxigen i intentar obtenir grafè el més pur possible.

RESISTÈNCIA LINEAL

GO spot 0,25mm step 0,2mm		
Temps d'exposició	Llargada de la mostra	Mesura de la resistència
0,01s	7,6mm	1.034Ω
0,2s	7,7mm	438Ω
1s	8mm	166Ω

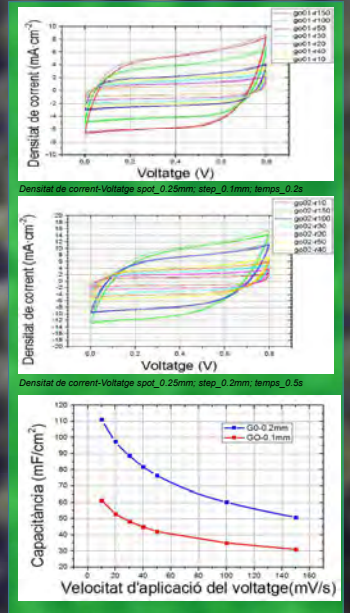
GO spot 0,25mm step 0,1mm		
Temps d'exposició	Llargada de la mostra	Mesura de la resistència
0,01s	8,4mm	1.326Ω
0,2s	7,5mm	306Ω
1s	(mostra destrossada)	

GO spot 0,5mm step 0,1mm		
Temps d'exposició	Llargada de la mostra	Mesura de la resistència
0,01s	7,4mm	52,3kΩ
0,2s	7,2mm	4,1kΩ
1s	(mostra destrossada)	

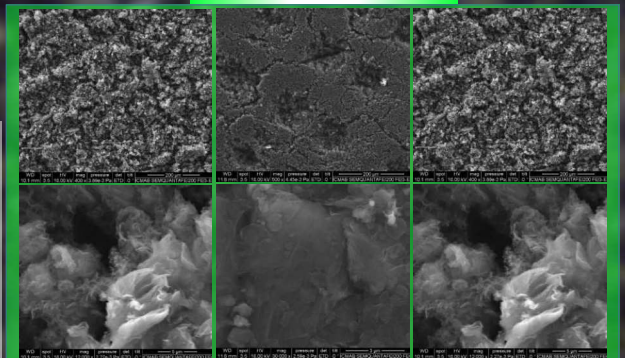
RESISTÈNCIA van der Pauw

The diagram shows the van der Pauw method for measuring the resistance of a square sample. It includes a diagram of the sample with four contacts and a diagram of the measurement setup. The text below the images states: "El valor de la resistència van der Pauw és per unitat d'àrea, és vàlid per qualsevol àrea del mateix gruix. En la primera mostra, la resistència obtinguda va ser de 30,6 Ω/sq, en la segona mostra de 43,7 Ω/sq. Aquesta prova es va realitzar en dues mostres, les que van proporcionar menor resistència."

VOLTIMETRIA CÍCLICA



MICROSCÒPIA S.E.M.



CONCLUSIONS

En el treball s'han obtingut uns resultats satisfactoris. S'han complert els objectius. Tot i això, queda molt camp per investigar en el món del supercondensadors de grafè. El sistema de píxels és un bon descobriment, sobre el qual s'ha de seguir investigant per tal d'obtenir resistències bones i amb les avantatges que els píxels ofereixen: precisió i rapidesa en la irradiació. La investigació d'aquest treball podria formar part d'una investigació científica a mitjà o llarg termini.

AGRAÏMENTS

Cal agrair profundament la feina del tutor del treball David Corrons Usón. També cal fer una menció especial a l'ICMAB i els investigadors que van fer possible l'elaboració del treball: Dr. Àngel Pérez del Pino i Àlex Chuquitarqui.



DESVIACIÓ DE LA LLUM EN LA LLEI DE LAMBERT-BEER

-Alba Arcalís, Carla Martí, Maria Chico i Ana García-
4t ESO. IES Miquel Martí i Pol

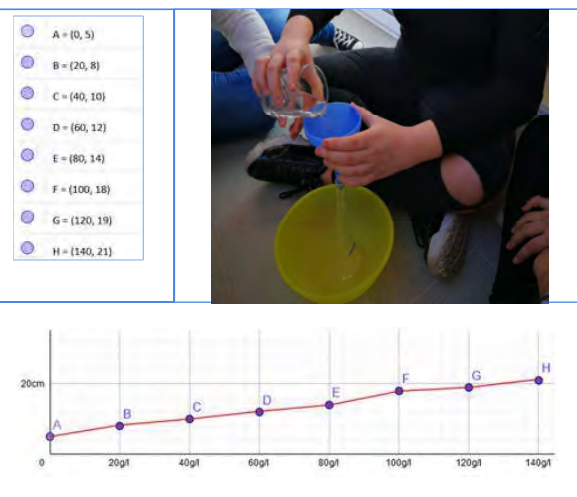
Introducció

El que volem aconseguir amb aquest treball és saber la quantitat de sucre que porten algunes fruites. Aquesta idea té una finalitat principal, i és que les persones diabètiques sàpiguen les quantitats de sucre que porten algunes fruites i, per tant, saber quines convé menjar-les i quines no. A continuació veurem les fruites més recomanables en cas de patir aquesta enfermetat. Però... Com podrem fer-ho? La llei de Lambert-Beer ens ajudarà.

Per aconseguir el nostre objectiu, el primer que s'ha de fer és realitzar el nostre propi aparell de mesura. Això vol dir que, mitjançant la Llei de Beer, volem saber quant es desvia la llum en diferents concentracions per tal de poder obtenir un gràfic que ens mostri els centímetres desviats en funció de la quantitat de sucre de la mostra.

Experimentació:

El primer que hem hagut de fer ha sigut una dissolució de sucre en aigua amb l'ajuda d'una balança i un matràs aforat. A continuació, hem fet travessar un làser per un got de base 6 cm de diàmetre, el qual contenia la dissolució de sucre. Aquest procediment l'hem realitzat amb diferents concentracions de sucre, obtenint com a resultat els mostrats a la gràfica.



La llei de Lambert-Beer

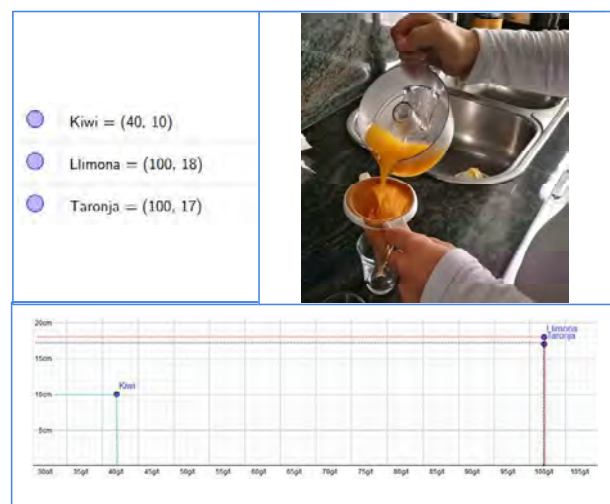
La llei de Lambert-Beer és un mètode matemàtic, el qual és utilitzat per expressar la manera en que la matèria absorbeix la llum. En òptica, la quantitat de llum que pot travessar la mostra pot disminuir en funció de 3 fenòmens físics:

- 1- La concentració
- 2- Les distàncies que ha de travessar la llum a través de la mostra
- 3- La absorbència

La desviació de la Llei de Lambert-Beer té com a principal causa un factor físic, ja que la absorbència varia en funció de la velocitat de la llum al passar per una substància determinada.

A continuació vam utilitzar tres fruites: un kiwi, una taronja i una llimona. Vam exprimir el suc de cadascuna i el vam passar per un colador de tela. El suc extret el vam posar en recipients on vam poder mesurar aproximadament els grams per litre de sucre que contenien mitjançant el làser.

En tots tres casos la llum es va desviar, en el kiwi va pujar 10 cm, en la llimona 18 cm i en la taronja 17 cm.



Conclusions

Amb el nostre experiment, hem pogut comprovar quines fruites seria convenient que les persones diabètiques mengessin ja que tenen menor quantitat de sucre. Per exemple el Kiwi no té una gran quantitat de sucre, per tant, el podran menjar, en canvi, la taronja poden menjar-la però no amb excés, perquè té molta més sucre que la fruita mencionada anteriorment. La llimona, al igual que la taronja, la poden menjar però no en excés.