

# SCIENTISTS MEET ART

*"The most beautiful thing we can experience is the mysterious. It is the source of all true art and science." (Albert Einstein)*

*"Si los físicos producen antimateria, les está permitido a los pintores, ya especialistas en ángeles, pintarla. Durante el período surrealista, he deseado crear la iconografía del mundo interior, el mundo de lo maravilloso, de mi padre Freud; lo he logrado. En la actualidad, el mundo exterior --el de la física-- ha trascendido al de la psicología. Mi padre, hoy, es el doctor Heisenberg. Con los mesones pi y los más gelatinosos e indeterminados neutrinos deseo pintar la belleza de los ángeles y de la realidad".*

*(Fragmento del "Manifiesto de la antimateria" escrito por Salvador Dalí y publicado en 1958.)*

*"El arte no refleja lo visible, sino que hace visible". (Paul Klee)*

Prepared for the "Invisibles'15 Workshop", Madrid 22-26 June 2015.  
Event organized in collaboration with the Thyssen-Bornemisza Museum.

# TABLE OF CONTENTS, by painters

- Mälesskircher, Gabriel (Saint Mark the Evangelist).....	7
- de' Roberti, Ercole (The Argonauts leaving Colchis).....	8
- van Ruisdael, Jacob Isaackz (Road through fields of corn near Zuidar See).....	8
- della Francesca, Piero (Portrait of a Boy. Guidobaldo da Montefeltro).....	9
- Bacon, Francis (Portrait of George Dyer in a Mirror).....	9, 51
- Bramantino (The Risen Christ).....	10
- Dou, Gerrit (Young Woman with a lighted Candle at a Window).....	11
- Hackert, Jacob Philipp (Landscape with the Palace of Caserta and Vesuvius).....	12
- Durand, Asher B. (A Creek in the Woods).....	13
- Degas, Edgar (El estanque en el bosque).....	14
- Degas, Edgar (Bailarina basculando).....	15
- Carr, Samuel S. (Children on the Beach).....	16
- Monet, Claude (Charing Cross Bridge).....	17
- Matisse, Henri (The Yellow Flowers).....	18
- Severini, Gino (Expansion de la luz (Centrifuga y centripeta)).....	18, 23
- Derain, André (El puente de Waterloo).....	19
- Braque, Georges (Woman with a Mandolin).....	21
- Picasso, Pablo (Man with a Clarinet).....	21
- Kupka, František (Position of Mobile Graphic Elements I).....	22
- Schmidt-Rottluff, Karl (Sun over Pine Forest).....	24
- Goncharova, Natalia (The Forest).....	25
- Larionov, Mikhail (Street with Lanterns).....	25
- Kandinsky, Wassily (Picture with Three Spots, No. 196).....	27
- Modigliani, Amedeo (Head of a Woman).....	29
- Schwitters, Kurt (Merzbild 1A (The Psychiatrist)).....	30

- Malevich, Kazimir (Suprematist Drawings).....	31
- Mondrian, Piet (Composición de colores / Composición n.º I con rojo y azul).....	30, 39
- Stepanova, Varvara Fedorovna (Billiard Players).....	32
- Klee, Paul (Rotating House).....	33
- Kandinsky, Wassily (Around the line) .....	34
- Klee, Paul (Still Life with Dice).....	35
- Delaunay-Terk, Sonia (Simultaneous Dresses (Three Women, Forms, Colours)).....	36
- O'Keeffe, Georgia (New York Street with Moon).....	37
- Chagall, Marc (The Cock).....	38
- Magritte, René (La clef des champs).....	40
- Mondrian, Piet (New York City, 3 (inacabado)).....	41
- Dalí, Salvador (Dream caused by the Flight of a Bee around a Pomegranate a Second before Waking up).....	42
- Pollock, Jackson (Brown and Silver I).....	44
- O'Keeffe, Georgia (From the Plains II).....	45
- Morisot, Berthe (The Psyche mirror).....	46
- Ernst, Max (Thirty-three Girls go Hunting White Butterfly).....	47
- Rothko, Mark (Untitled (Green on Maroon)).....	49
- Burchfield, Charles Ephraim (Orion in Winter).....	50
- Estes, Richard (Telephone Booths).....	51

# TABLE OF CONTENTS, by alphabetic order of proponents

- Anthony, Matthew (Columbia Univ., USA).....	12
- Aprile, Elena (XENON dark matter experiment leader, Columbia Univ.).....	47
- Barenboim, Gabriela (Univ. De Valencia, Spain) .....	34
- Barrow, Peter (Univ. of Zurich, Switzerland) *.....	11, 29
- Bergstrom, Johannes (Univ. de Barcelona, Spain) *.....	33
- Brivio, Ilaria (IFT UAM-CSIC, Madrid, Spain) *.....	32
- Còrdoba, Antonio (ICMAT UAM-CSIC, Madrid, Spain).....	31
- de Romeri, Valentina (Blaise-Pascal Univ., Clermont-Ferrand, France) *.....	48
- de Rújula, Alvaro (CERN and IFT UAM-CSIC, Madrid, Spain) .....	14
- Domcke, Valerie (SISSA, Trieste, Italy) *.....	8, 18, 22
- Fernandez-Martinez, Enrique (IFT UAM-CSIC, Spain) .....	42
- Frigerio, Michele (CNRS Montpellier, France) .....	35
- García Bellido, Juan (IFT UAM-CSIC, Spain).....	31, 43
- Henderson, Linda (University of Texas at Austin).....	21, 27
- Hierro, Ignacio (Univ. de Padova, Italy) *.....	20, 51
- Ibañez, Luis (IFT UAM-CSIC) .....	42
- Illana, Jose Ignacio (Univ. De Granada, Spain).....	51
- Kanshin, Kirill (Univ. de Padova, Italy) *.....	52
- Kekic, Marija (Univ. de Valencia, Spain) *.....	13, 28
- Khumar, Abhass (HRI, Allahabad, India) .....	28, 30, 51
- Livio, Mario (Space Telescope Science Institute, Baltimore., USA).....	9
- Lucente, Michele (Univ. de Paris-Sud, France) *.....	40, 49
- Machado, Pedro ( IFT UAM-CSIC, Madrid, Spain) *.....	44
- Maiani, Luciano (Univ. De Roma I, former CERN director general).....	23

- Mayani, Daniel (Univ. de Zurich, Switzerland) \* .....15, 16
- Merlo, Luca (IFT UAM-CSIC, Spain) .....19, 41, 47
- Neder, Thomas (Univ. of Southampton, UK) \* .....36
- Nelson, Ann (Univ. Of Washington, Seattle) .....17, 38, 45
- Rigolin, Stefano (Univ. De Padova, Italy) .....33
- Ross-Lonergan, Mark (Durham Univ., UK) \* .....26
- Saviano, Ninetta (Durham Univ., UK) \* .....24, 37, 46
- Villar Martin, Montserrat (CSIC, Spain) .....7, 10, 50
- Weiland, Cedric (IFT UAM-CSIC, Madrid, Spain) .....39

\* Invisibles Young Scientists.

# TABLE OF CONTENTS, by theme

Colour codes:



Art as seen by Scientists



Scientific concepts explained through Art

## Art as seen by Scientists

- de' Roberti, Ercole (The Argonauts leaving Colchis).....	8
- van Ruisdael, Jacob Isaackz (Road through fields of corn near Zuidar See).....	8
- Dou, Gerrit (Young Woman with a lighted Candle at a Window).....	11
- Hackert, Jacob Philipp (Landscape with the Palace of Caserta and Vesuvius).....	12
- Durand, Asher B. (A Creek in the Woods).....	13
- Degas, Edgar (El estanque en el bosque).....	14
- Carr, Samuel S. (Children on the Beach).....	16
- Monet, Claude (Charing Cross Bridge).....	17
- Kupka, František (Position of Mobile Graphic Elements I).....	22
- Malevich, Kazimir (Suprematist Drawings).....	31
- Mondrian, Piet (Composición de colores / Composición n.º I con rojo y azul).....	31, 39
- Stepanova, Varvara Fedorovna (Billiard Players).....	32
- Klee, Paul (Rotating House).....	33
- Kandinsky, Wassily (Around the line).....	34
- Klee, Paul (Still Life with Dice).....	35
- O'Keeffe, Georgia (New York Street with Moon).....	37
- Chagall, Marc (The Cock).....	38
- Dalí, Salvador (Dream caused by the Flight of a Bee around a Pomegranate a Second before Waking up).....	42
- Ernst, Max (Thirty-three Girls go Hunting White Butterfly).....	47
- Rothko, Mark (Untitled (Green on Maroon)).....	49
- Estes, Richard (Telephone Booths).....	51

## Scientific concepts explained through Art

- Mälesskircher, Gabriel (Saint Mark the Evangelist).....	7
- della Francesca, Piero (Portrait of a Boy. Guidobaldo da Montefeltro).....	9
- Bacon, Francis (Portrait of George Dyer in a Mirror).....	9, 52
- Bramantino (The Risen Christ).....	10
- Degas, Edgar (Bailarina basculando).....	15
- Matisse, Henri (The Yellow Flowers).....	18
- Severini, Gino (Expansion de la luz (Centrifuga y centripeta)).....	18, 22
- Derain, André (El puente de Waterloo).....	19
- Braque, Georges (Woman with a Mandolin).....	21
- Picasso, Pablo (Man with a Clarinet).....	21
- Schmidt-Rottluff, Karl (Sun over Pine Forest).....	24
- Goncharova, Natalia (The Forest).....	25
- Larionov, Mikhail (Street with Lanterns).....	25
- Kandinsky, Wassily (Picture with Three Spots, No. 196).....	27
- Modigliani, Amedeo (Head of a Woman).....	29
- Schwitters, Kurt (Merzbild 1A (The Psychiatrist)).....	30
- Klee, Paul (Rotating House).....	33
- Delaunay-Terk, Sonia (Simultaneous Dresses (Three Women, Forms, Colours)).....	36
- Magritte, René (La clef des champs).....	40
- Mondrian, Piet (New York City, 3 (inacabado)).....	41
- Pollock, Jackson (Brown and Silver I).....	44
- O'Keeffe, Georgia (New York Street with Moon, From the Plains II).....	45
- Morisot, Berthe (The Psyche mirror).....	46
- Ernst, Max (Thirty-three Girls go Hunting White Butterfly).....	47
- Burchfield, Charles Ephraim (Orion in Winter).....	50

**Gabriel Mälesskircher**  
**“El evangelista San Marcos”**  
**1478**



La conexión de esta pintura con la ciencia es un poco sutil, y, de ser elegida, yo recomendaría tener cuidado en la forma en que se describe.

Encima de la mesa de San Marcos vemos un documento con los símbolos del zodiaco. Estos son generalmente asociados con la astrología y el horóscopo. La astrología es una pseudociencia. Esto significa que no tiene ninguna base científica. Y aquí es mi preocupación: si la astrología se discute en cualquier momento, debe quedar perfectamente claro que es una pseudociencia. De lo contrario, se perderá el rigor científico de la exposición. Por otra parte, el zodiaco tiene un verdadero significado astronómico y esto es interesante desde el punto de vista científico y, posiblemente, para el público en general. El zodiaco consiste en un conjunto de 12 constelaciones que se pueden ver en el cielo nocturno (Piscis, Géminis, Aries, etc). Los símbolos en el pergamino sobre el escritorio de San Marcos se corresponden con estas 12 constelaciones. Cuando miramos el cielo estrellado siempre veremos alguna de las constelaciones del zodiaco. Además, si pudiéramos ver el camino que el Sol aparentemente se describe en la esfera celeste (que no puede porque es de día), tendríamos nos daríamos cuenta de que a medida que el año pasa, se mueve de una constelación zodiacal a otra. La razón de esto es que los planetas describen sus órbitas alrededor del Sol dentro de más o menos el mismo plano. Así, en la noche, vemos los planetas proyectadas en una estrecha banda en la esfera celeste definida por las constelaciones del zodiaco. Lo que son totalmente falsas son las afirmaciones de los astrólogos que el carácter de la gente depende de lo constelaciones en que sus planetas estaban en su nacimiento, etc.

*Texto traducido*

*Montserrat Villar Martín es una astrofísica española y trabaja en el CSIC.*

The connection of this painting with science is a bit subtle, and, if chosen, I would recommend to be careful on the way it is described. On top of St. Mark's desk a document appears with the zodiac symbols. These are generally associated with Astrology and the horoscope. Astrology is a pseudo-science. This means that it has no scientific basis. And here is my concern: if Astrology is discussed at any moment, it should be made perfectly clear that it is a pseudo-science. Otherwise, the scientific rigour of the exhibit will be lost.

On the other hand, the zodiac has a real astronomical meaning and this is interesting from the scientific point of view and possibly for the general public. The zodiac consists of a band of 12 constellations that can be seen in the night sky (Piscis, Gemini, Aries, etc). The symbols on the parchment on St Mark's desk correspond to these 12 constellations. When we look at the starry sky the planets we shall see will always be on any of the Zodiac constellations. Also, if we could see the path that the Sun apparently describes on the celestial sphere (we cannot because it is daylight), we would also realize that as the year passes by, it moves from one Zodiacal constellation to another. The reason for this is that the planets describe their orbits around the Sun within more or less the same plane. Thus, in the night, we see the planets projected on a narrow band in the celestial sphere defined by the Zodiac constellations.

What are totally false are the claims by astrologers that the character of people depends on what constellations the planets were at their birth, etc, etc.

*Original text: Montserrat Villar Martín*



**Jacob Isaacksz van Ruisdael,**  
**“Camino atravesando campos**  
**de trigo cerca de Zuider Zee”**  
**1660-1662**



Hacer ciencia significa explorar nuevas áreas, empujar los límites, estar abiertos a lo inesperado. Nunca sabemos dónde nos llevará el camino, y ese es precisamente el motivo por el que lo seguimos: el camino es el destino. Establecer metas factibles y alcanzarlas es importante (en particular para los organismos de financiación), pero es la curiosidad y el valor para dejar atrás el camino ya trillado lo que lleva a los grandes descubrimientos.

Doing science means exploring new areas, pushing frontiers, being open for the unexpected. We never know where the journey will lead us - that's exactly the point in going. The journey is the destination. Setting measurable goals and reaching these is important (in particular for funding agencies) but it's curiosity and the courage to leave the trodden path which leads to the big discoveries.

*Texto traducido*

*Original text: Valerie Domcke*

*Valerie Domcke es una joven científica alemana de la red europea Invisibles, que trabaja en SISSA (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) Trieste, Italia.*

**Ercole de' Roberti**  
**“Los argonautas abandonan la**  
**Cólquida”**  
**c.1480**



**Piero della Francesca**  
**“Retrato de un niño. Guidobaldo da Montefeltro”**  
 c. 1483



**Francis Bacon**  
**“Retrato de George Dyer en un espejo”**  
 1968



Por supuesto, el contraste entre los dos retratos, pintados a siglos de distancia, es de por sí fascinante, pero hay más que eso. Piero della Francesca era un matemático consumado, que ha escrito libros importantes en perspectiva, en los cinco sólidos regulares y en el ábaco. Las figuras distorsionadas de Bacon reflejan una visión diferente de la perspectiva, y de cómo aparecen las imágenes, como si se tomase una fotografía con una cámara a una velocidad demasiado baja. En primer lugar, creo que el hecho de que los dos retratos estén en estricto perfil da lugar a una comparación emocionante. En el caso de la pintura de Piero, es bastante increíble cómo él, un teórico líder en perspectiva, creó una pintura en la que aparentemente el ojo no tiene ningún lugar de dónde agarrarse para obtener la sensación de profundidad, dado que no hay elementos adicionales en la pintura que no sea el niño. Sin embargo, a través de un uso genial de un fondo extremadamente oscuro, la figura parece tridimensional. Bacon logra esto a través del uso del espejo.

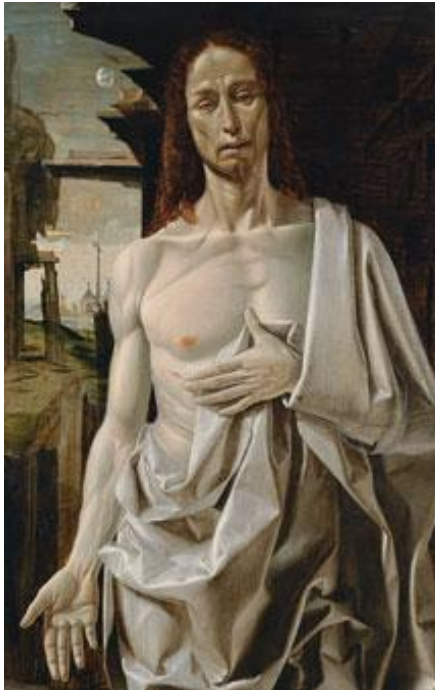
Of course, the contrast between the two portraits, painted centuries apart, is in itself fascinating, but there is more to it. Piero della Francesca was an accomplished mathematician, who has written important books on perspective, on the five regular solids, and on the abacus. Bacon's distorted figures reflect a different view on perspective, and on how images appear, if a picture is taken with a camera at too low a speed. First, I think that the fact that the two portraits are in strict profile makes for a thrilling comparison. For the case of Piero's painting, it is quite amazing how he, a leading theorist in perspective, created a painting that seemingly gives the eye nothing to hang on (since there are no additional elements in the painting other than the boy), to get the feeling of depth. Yet, through a genius use of the extremely dark background, the figure looks three-dimensional. Bacon achieved this through the use of the mirror.

*Texto traducido*

*Original text: Mario Livio*

*Mario Livio es un astrofísico de origen rumano y trabaja en el Space Telescope Science Institute (Baltimore). Es autor de varios libros de divulgación científica: The Accelerating Universe (2000), The Golden Ratio: The Story of Phi (2002), The Equation That Couldn't Be Solved (2005), Is God A Mathematician? (2009) and Brilliant Blunders (2013). Es ponente en el evento de divulgación.*

**Bramantino**  
**“Cristo resucitado”**  
 c. 1490



La representación de la Luna es interesante porque representa en bastante detalle el contraste entre oscuridad y luz, que se puede apreciar a simple vista en la superficie de nuestro satélite. Estas manchas de la Luna han inspirado muchas leyendas en el folklore de diferentes países, las cuales a menudo hablan de un hombre cargando leña en la espalda. En algunas historias, el hombre, el pobre y viejo, estaba tan cansado que pidió la Luna: "Ven y trágame". Y la luna, sintiendo lástima por él, descendió del cielo y se lo llevó. Las manchas oscuras se supone que son de madera del viejo. En otras historias, ha robado la leña y allá arriba, en la superficie de la Luna, está expuesto a la vergüenza a su expiar su culpa. Por último, algunas fábulas mencionan que la Luna secuestra al hombre y las manchas son el hombre que lleva la leña en su espalda.

La realidad es menos romántica. Las manchas de la Luna se deben a las diversas propiedades de la superficie de nuestro satélite, dependiendo del lugar. Las áreas más claras están plagadas de cráteres que se formaron a consecuencia de impactos de meteoritos. Estos son tan abundantes, que a menudo son cráteres dentro de cráteres. Las áreas oscuras se llamaron "Maria" (del latín, "mares") en el siglo XVII (tal vez antes), porque fueron confundidos con mares de verdad, mientras que en realidad no contienen agua. Estas grandes superficies más oscuras se originaron durante las primeras fases de la Luna, como consecuencia de las erupciones basálticas. La lava llenó muchos cráteres preexistentes y es por eso que son menos abundantes allí. Los "maría" reflejan menos luz solar debido a su diferente composición y propiedades del suelo: es por eso que parecen más oscuras.

The representation of the Moon is interesting because it depicts in quite lot of detail the dark/light contrasts than can be appreciated with the naked eye on the surface of our satellite. These Moon spots have inspired many legends in the folklore of different countries, which often talk about a man carrying firewood on his back. In some stories, the man, poor and old, was so tired that asked the Moon: "Come and swallow me". And the Moon, feeling pity for him, descended from Heaven and took him away. The dark spots are supposed to be the old man's wood. In other stories, he has stolen the firewood and up there, on the surface of the Moon, he is exposed to shame to his atone his guilt. Finally, some fables mention that the Moon kidnaps the man and the spots are the man carrying the wood on his back.

Reality is less romantic. The Moon spots are due to the diverse properties of the surface of our satellite from place to place. The lighter areas are plagued with craters that were formed a consequence of meteor impacts. They are so abundant, that often craters are within craters. The dark areas were called "Maria" (Latin for "seas") in the XVII century (maybe earlier), because they were mistaken for actual sees. They actually do not contain water. These large darker surfaces were originated during the early phases of the Moon, as a consequence of basaltic eruptions. The lava filled many pre-existing craters and this is why they are less abundant there. The "maria" reflects less solar light due to their different soil composition and properties. This is why they appear darker.

*Texto traducido*

*Original text: Montserrat Villar Martín*

*Montserrat Villar Martín es una astrofísica española y trabaja en el CSIC.*

**Gerrit Dou**  
**“Joven a la ventana con una vela”**  
**c. 1658-1665**



Como científicos, no podemos depender únicamente de nuestros sentidos para explorar la multitud de mundos escondidos en la física. En su lugar, construimos experimentos diseñados específicamente para explorar lo desconocido. Estas “velas” experimentales iluminan el mundo que nos rodea y nos revelan nuevas verdades. No siempre se sabe lo que se va a encontrar al encender una vela. Es posible que no haya nada ahí, pero el deseo de exploración nos incita a seguir buscando.

As scientists, we can no longer rely on our own senses to explore the multitude of hidden worlds in physics. Instead we must derive experiments specifically suited to the task at hand, to enable us to probe the unknown. These experimental “candles” light up the world around us, exposing new truths. One never knows what we find when we light the candle, perhaps there might not be anything, but the lure for exploration demands that we must try.

*Texto traducido*

*Original text: Peter Barrow*

*Peter Barrow es un joven científico británico de la red Invisibles, que trabaja en la Universidad de Zurich.*

**Jacob Philipp Hackert**  
**“Paisaje con el palacio de**  
**Caserta y el Vesubio”**  
**1793**



Escogí esta pintura porque me recuerda a los grandes pasos que se han hecho a lo largo de la historia en la ciencia. Este avance de la ciencia nos ha llevado de un tiempo en el que a muchos fenómenos se les atribuían causas sobrenaturales a un punto en el que es el objetivo de muchas personas en el mundo no sólo explicar tales misterios pero sumergirse más profundamente en ellos. Dos ejemplos de esto se muestran claramente en este trabajo: el volcán y la puesta del Sol.

*Texto traducido*

*Matthew Anthony es un joven investigador norteamericano, que trabaja en la Universidad de Columbia (Nueva York, USA).*

I chose this piece because it reminded me of the great strides made in science made throughout history. This progression of science has taken us from a time where many natural phenomena were assumed to have supernatural origins to a point where it is the goal of many people around the world to not only explain them but to delve even deeper into these mysteries. Two examples of such phenomena are very clear in this work: the volcano and the sunset.

*Original text: Matthew Anthony*

**Asher B. Durand**  
**“Un arroyo en el bosque”**  
**1865**



El objetivo principal de la física es intentar encontrar reglas que describan el mundo que nos rodea a partir de observaciones y mediciones. A través de los siglos hemos conseguido pasar de utilizar nuestros ojos para describir el mundo clásico y establecer la mecánica Newtoniana a un punto en el que podemos “ver” las partículas subatómicas o partes del universo fuera de nuestra propia galaxia! Gracias a los experimentos hemos establecido las leyes de la mecánica cuántica y relativista, pero a la vez hemos abierto las puertas hacia fenómenos aún sin explicar, como la materia oscura y la energía oscura.

Al expandir las fronteras de lo que podemos medir hemos podido entender mejor ciertos fenómenos, pero no puede uno evitar preguntarse si podremos saber algo sobre los mundos que no predicen nuestras teorías y que no tenemos ni idea de que existen, o si seremos los suficientemente afortunados como para observar la caída de un árbol en un bosque entre un millón de ellos.

*Texto traducido*

*Marija Kekic es una joven serbia de la red europea Invisibles, que trabaja en el Instituto de Física Corpuscular (Universidad de Valencia).*

The main goal of physics is to try to describe and find rules and regularities in the world around us, and the only knowledge we might have about different phenomena is by observing them, i.e. measuring. Through years the instruments have been developed, and, from using only bare eyes to observe classical world and establish laws of Newtonian mechanics, we managed to arrive at the point where we can 'see' inside the subatomic particles or parts of the universe outside of our galaxy! Thanks to experiments now we have well established laws of quantum and relativistic mechanics, but also open gates to some yet unexplained phenomena such as dark energy or dark matter.

Pushing the bounds of the things we can measure brings us better understanding of these phenomena, but one also can't stop wondering if we will ever be able to know anything about the world we have not predicted in our theories and we can not have any idea whether it exists or not, and if we will ever be lucky enough to observe the fall of one tree among millions of them.

*Original text: Marija Kekic*

**Edgar Degas**  
**“El estanque en el bosque”**  
**c. 1867-1868**



**Impresionismo y Mecánica Cuántica**

Las artes y las ciencias son cumbres del quehacer humano, de lejos sus dos únicos “ochomiles”. No es pues sorprendente que entre arte y ciencia puedan buscarse analogías, aunque con bastante licencia poética, ya que las analogías son siempre científicamente débiles.

El impresionismo y la mecánica cuántica tienen cosas en común. Por ejemplo, se desarrollaron, en ese orden, casi sucesivamente (probablemente algún sociólogo le ha atribuido causas a esta casualidad). Más obviamente, el estanque de Degas y el principio de Heisenberg reflejan modos análogos de “ver” las cosas. Mirada en su conjunto, una pintura hiper-realista puede parecerse a la realidad. Pero el pintor podía haberse ahorrado la mayoría de los brochazos. Con muchos menos, el estanque de Degas, también mirado a una cierta distancia, expresa la realidad tal como “es”. Y al decir “es”, me he pasado, quería decir “la vemos”.

El principio de incertidumbre, corazón de la mecánica cuántica, va aún más lejos que Degas. Si vemos con mucha precisión donde está algo, lo vemos “borroso”: no sabemos cuánto se mueve. Para colmo, la realidad —que la mecánica cuántica describe— supera a los impresionistas: al “ver” algo, inevitablemente lo modificamos. Lo contrario es mucho más obvio: no somos los mismos después de contemplar este estanque.

*Texto original: Álvaro de Rújula*

*Álvaro de Rújula es un físico español que trabaja en el CERN (Suiza) y en el Instituto de Física Teórica IFT UAM-CSIC. Es también un divulgador reputado y colaborador del New York Times, El País, BBC, y otros periódicos y medios de comunicación de alto impacto. Es ponente en los eventos de divulgación de la conferencia.*

**Impressionism and Quantum Mechanics**

The Arts and the Sciences are pinnacles of human activity, by far the tallest two. Not so surprisingly, one may find analogies between them. But, since these analogies are always scientifically weak, they require a fair amount of poetic license.

Impressionism and Quantum Mechanics share some features, to use an imprecise term. They developed, in the cited order, in close succession (perhaps some sociologist has invented a cause for this). More explicitly, Degas’s Pond in the Forest and Quantum Mechanics reflect similar ways of “seeing”. Seen as a whole, a hyper-realistic painting might resemble reality. But its painter might have saved lots of brush strokes. With much fewer ones, Degas’s Pond, if also looked at from a certain distance, reflects reality as it “is”. In saying “is” I went too far, I should have said “as we perceive it”.

The uncertainty principle —at the heart of Quantum Mechanics— goes even further than Degas. If we see with great precision where something happens to be, our seeing is fuzzy: we would not know how much it is moving. To top it all the real world —as correctly described by Quantum Mechanics— goes far beyond the impressionists in that, when “seeing” something, we inevitably modify it. The opposite statement is much more obvious: we do not remain the same after contemplating Degas’s Pond.

*Text translated by the author*

**Edgar Degas**  
**“Bailarina basculando”**  
**1877-1879**



## Galaxias de colores

En 1929, el astrónomo americano Edwin Hubble formuló a partir de sus mediciones con galaxias, la ley que ahora lleva su nombre y que cambió nuestra percepción del cosmos para siempre. La ley de Hubble estipula que entre mayor es la distancia entre galaxias, mayor es la velocidad de separación entre ellas. En otras palabras, el universo se está expandiendo en todas direcciones. ¿Cómo ha llegado a esta conclusión? Cuando una galaxia se mueve hacia nosotros, la luz que observamos tiene un desplazamiento hacia el azul, es decir, su longitud de onda se acorta. Mientras que si la galaxia se aleja, su luz tiene un desplazamiento hacia el rojo. Hubble observó que mientras más lejos está una galaxia, mayor es la longitud de onda de la luz que recibimos y por lo tanto más roja se ve. El descubrimiento de la expansión del universo es uno de los grandes éxitos de la física moderna y un pilar fundamental en nuestra concepción del origen del cosmos, la teoría del Big Bang. Ahora sabemos además que esta expansión continúa de manera acelerada, contrario a lo que se esperaría por la atracción gravitacional de las galaxias. ¿Qué está causando tal aceleración? A la causa de este fenómeno le hemos llamado *energía oscura* y sigue siendo uno de los grandes misterios de la actualidad.

*Texto original: Daniel Mayani*

*Daniel Mayani es un joven físico mexicano de la red europea Invisibles que trabaja en la Universidad de Zurich.*

## Colored galaxies

In 1929, the American astronomer Edwin Hubble formulated, based on his measurements with galaxies, the law that now bears his name and changed the way we see the Universe for ever. Hubble's law states that the farther galaxies are from each other, the faster they move apart. In other words, the universe is expanding in all directions. How did he come to this conclusion? When a galaxy moves towards us, the light we see is shifted to the blue end of the electromagnetic spectrum, meaning that its wavelength gets shorter. Meanwhile, if a galaxy moves away from us, its light gets shifted towards the red end of the spectrum. Hubble observed that the farther a galaxy is from us, the longer the wavelength of its light is and thus the larger its redshift.

The discovery of the expansion of the Universe is one of science's greatest achievements and the cornerstone of the Big Bang theory for the origin of the cosmos. Now we know that not only is the Universe expanding, but it's doing so at an accelerated rate. Quite contrary to what is expected from the gravitational attraction between galaxies. What is causing such an acceleration? *Dark energy* is the responsible of this phenomenon and it remains one of the greatest mysteries of our time.

*Text translated by the author*



**Samuel S. Carr**  
**“Niños en la Playa”**  
**c. 1879-1881**



### Como niños en la playa

Hacia finales del siglo XIX, el sentimiento en la comunidad científica era que todos los grandes problemas de la física estaban resueltos y que lo único que quedaba por hacer era perfeccionar los métodos y técnicas para realizar mediciones más precisas. La mecánica clásica y la termodinámica podían explicar sistemas altamente complejos de objetos macroscópicos, la óptica geométrica y las ondas electromagnéticas explicaban la naturaleza de la luz y la conservación de energía, masa e ímpetu eran leyes bien establecidas. Pero el siglo XX trajo consigo una revolución que sacudió los cimientos de la física y la ciencia en general. La teoría de la relatividad y la mecánica cuántica nos abrieron los ojos hacia lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño. De pronto nos percatamos que éramos tan sólo como niños en la playa con apenas los pies en el agua. *La materia oscura, los neutrinos y la energía oscura* comprenden la mayor parte de nuestro universo y hace un siglo ni sabíamos de su existencia. Al levantar la mirada hacia el horizonte, hemos descubierto un vasto océano que apenas empezamos a explorar.

*Texto original: Daniel Mayani*

*Daniel Mayani es un joven físico mexicano de la red europea Invisibles que trabaja en la Universidad de Zurich.*

### Like children on the beach

By the end of the 19<sup>th</sup> century, the feeling in the scientific community was that all the big problems in physics had been solved and that all that was left was to perfect the techniques and methods to increase the precision of previous measurements. Classical mechanics and thermodynamics could explain highly complex systems of macroscopical objects, optics and electromagnetism explained the nature of light, while the conservation of energy, mass and momentum where very well established laws. But the 20<sup>th</sup> century brought along a revolution that shook the foundations of physics and science in general. The theory of relativity and quantum mechanics opened our eyes to the infinitely large and the infinitely small. Suddenly we came to realize that we were simply children on the beach barely getting our feet wet. *Dark matter, neutrinos and dark energy* comprise most of our known universe and one century ago we didn't even know they existed. By looking over the horizon, we have discovered an endless ocean that we have only now started to explore.

*Text translated by the author*

**Claude Monet**  
**“El puente de Charing Cross”**  
**1899**



El énfasis en esta pintura en capturar un efecto momentáneo y la evocación de toda una escena a partir de unos pocos trazos y pinceladas de colores apagados me recuerda cómo un físico interpreta una imagen de un detector, donde unos pocos chispazos de energía y líneas de ionización revelan un evento complicado, diciéndonos mucho acerca de los procesos subyacentes.

The emphasis in this painting on capturing a momentary effect and conjuring up an entire scene from a few brushstrokes and splashes of muted color reminds me of how a physicist interprets a picture from a detector, where a few splashes of energy and lines of ionization reveal a complicated event and tell us about the underlying processes.

*Texto traducido*

*Original text: Ann Nelson*

*Ann Nelson es una física norteamericana y profesora en la Universidad de Washington, Estados Unidos.*

**Henri Matisse**  
**“Las flores amarillas”**  
 1902 [1]



**Gino Severini,**  
**“Expansión de la luz (Centrífuga y centrípeta)”**  
 c. 1913-1914 [2]



Estas dos pinturas trabajan con simetrías en dos maneras muy diferentes. La simetría más común que encontramos en la vida cotidiana es una "simetría de espejo", como en el cuadro de Matisse. Dos copias idénticas de un objeto (en este caso las flores y las flores en el espejo), de tal modo que el cambio de ambas no da lugar a ningún cambio neto. Los físicos se refieren a esto como una simetría  $Z_2$ .

Sin embargo, el concepto de simetrías es mucho más rica que este sencillo ejemplo. Por ejemplo, el cuadro de Severini se construye utilizando sólo los tres colores primarios y sus tonos complementarios. Ahora podríamos realizar una permutación de estos colores primarios, es decir, amarillo  $\rightarrow$  azul, azul  $\rightarrow$  rojo, rojo  $\rightarrow$  amarillo (y correspondientemente para los colores complementarios) y la impresión de esta pintura seguiría siendo el mismo: pequeñas figuras para colores "cercaños", grandes formas ahí donde colores se encuentran "distintos colores". Los físicos llaman a esto una simetría  $SU(3)$ .

Las simetrías son extremadamente potentes, por lo que son herramientas utilizadas constantemente en la comprensión y modelado de las leyes de la naturaleza. Por ejemplo, la mencionada simetría  $SU(3)$  es un ingrediente fundamental en la comprensión de la interacción fuerte. Incluso nos referimos a las tres copias de partículas (quarks) como tener si tuvieran tres "colores", en analogía a la simetría descrita en el cuadro de Severini. Una de las grandes cuestiones abiertas en la física de partículas es la búsqueda de una estructura de simetría que puede explicar todas las partículas elementales y sus interacciones.

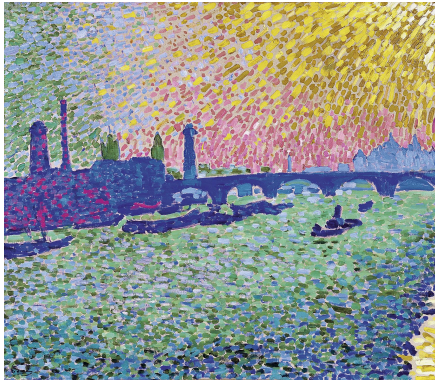
These two paintings work with symmetries in two very different ways. The most common symmetry we encounter in every day life is a 'mirror symmetry', as in [1]: Two identical copies of an object (in this case the flowers and the flowers in the mirror), so that interchanging them results in no net change. Physicists refer to this as a " $Z_2$  - symmetry". However, the concept of symmetries is much richer than this simple example. For example [2] is constructed using only the three primary colors and their complementary shades. We could now perform a permutation of these primary colours, e.g. yellow  $\rightarrow$  blue, blue  $\rightarrow$  red, red  $\rightarrow$  yellow (and correspondingly for the complementary colors) and the impression of this painting would remain the same: small shapes for 'close' colors, large shapes where very 'different' colors meet. Physicists call this a " $SU(3)$  symmetry". Symmetries are an extremely powerful and much used tools in understanding and modelling the laws of nature. For example, the above mentioned  $SU(3)$  symmetry is a crucial ingredient in understanding the strong interaction. We even refer to the three copies of particles (quarks) as having different 'colors', in analogy to the symmetry described above. One of the big open questions in particle physics is the search for a symmetry structure which can explain all elementary particles and their interactions.

*Texto traducido*

*Original text: Valerie Domcke*

*Valerie Domcke es una joven científica alemana de la red Invisibles, que trabaja en SISSA (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) Trieste, Italia.*

**André Derain**  
**“El puente de Waterloo”**  
**1906**



**El mundo visto a través de unas gafas de neutrinos**

Cada brochazo representa un bonche de neutrinos: provenientes del Sol debido a reacciones nucleares en la estrella; de la Tierra, el agua y el aire, debido a la radioactividad natural del planeta. Estamos continuamente sumergidos en un mar de neutrinos, pero sin percatarnos realmente.

*Texto traducido*

*Luca Merlo es un joven físico italiano y trabaja en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT-UAM/CSIC).*



Si observamos este cuadro desde una cierta distancia lo que percibimos es un puente, los contornos de una ciudad y algunas barcas, todo iluminado por el Sol y pintado en bellos colores. Cuando vemos el cuadro de cerca es fácil darse cuenta de que todo está pintado utilizando trazos más o menos gruesos, de forma que se percibe inmediatamente que todas las figuras del cuadro están formadas por unidades más pequeñas. Otro tipo de cuadros, en particular la mayoría de los creados en tiempos previos al impresionismo, muestran la realidad de una manera más cercana a como la percibimos diariamente: como un continuo, es decir, como objetos no constituidos por elementos más pequeños. Sin embargo, sabemos por ejemplo que el agua está formada por moléculas, las cuales a su vez están formadas por átomos, los cuales están formados por electrones y núcleos, los cuales a su vez...

Esta perspectiva, en la que lo que parece un todo continuo se estructura en objetos diferenciados más pequeños, es una idea fundamental en Física hoy en día, aunque ya fuese formulada siglos atrás por los filósofos griegos atomistas. La búsqueda de los componentes últimos de la realidad, los bloques con los que se construye todo lo que observamos, es la motivación última de la Física. A Richard Feynman, premio Nobel de Física y uno de los científicos más

excelentes del siglo XX, se le planteó la siguiente pregunta: si nuestra civilización desapareciese y pudiese dejar como legado a las personas encargadas de reconstruir el conocimiento tan sólo una idea, ¿cuál elegiría? Su respuesta fue clara: la idea de que todas las cosas están compuestas por átomos. Tal vez el profesor Feynman estaría de acuerdo en que este cuadro

**The world seen from neutrino glasses**

Each brush stroke represents a bunch of neutrinos: from the sun due to the solar nuclear reactions; from the earth, water and air, due to the natural radioactivity of our Hearth. We are continuously diving in a sea of neutrinos, but without really realising it.

*Original text: Luca Merlo*



Looking at this picture from a distance what we perceive is a bridge, the contours of a city and some boats, all lit by the Sun and painted in beautiful colors. When we get closer to the painting, it is easy to see that everything is painted using more or less thick strokes, so that we realize immediately that all the figures in the painting are composed of smaller units. Another type of pictures, most notably those created in times before Impressionism, show reality closer to how we perceive it in our daily life: as a continuum, i.e. as objects not made of smaller elements. However, we know that for example water is formed by molecules, which in turn are composed of atoms, which are formed by electrons and nuclei, which in turn ...

This perspective, in which what seems a continuum is divided into smaller distinct objects, is a fundamental idea in Physics today, although it was already formulated centuries ago by the Greek atomist philosophers. The search for the ultimate constituents of reality, the blocks with which is built everything that we observe, is the ultimate motivation of Physics. Richard Feynman, Nobel Prize in Physics and one of the great scientists of the 20th century, was asked the following question: if our civilization disappeared and we could leave as a legacy to the people responsible for rebuilding all the knowledge just one idea, which one would you choose? His answer was clear: the

idea that all things are composed of atoms. Perhaps Professor Feynman would agree that this picture too, without any further comment, could also function as such a legacy.

Español

también, sin ningún comentario adicional, pudiese funcionar también como legado.

*Texto original: Ignacio Miguel Hierro Rodríguez*

*Ignacio Miguel Hierro Rodríguez es un joven físico español de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Padova (Italia).*

English

*Text translated by the author*

**Georges Braque**  
**“Mujer con mandolina”**  
**1910**



**Pablo Picasso**  
**“Hombre con clarinete”**  
**1911-1912**



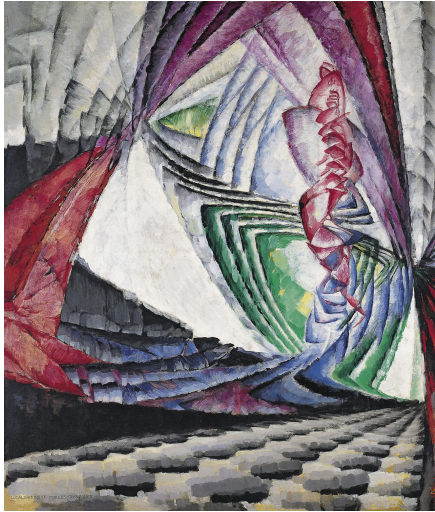
Me encantó ver en la colección Thyssen-Bornemisza los cuadros cubistas de Picasso (*Hombre con clarinete*, 1911-12) y Braque (*Mujer con mandolina*, 1910) que son muy apropiados para mi discusión de, por un lado, la cuarta dimensión, y por otro lado las realidades invisibles sugeridas por descubrimientos tales como los rayos X y la radioactividad, que fueron tan importantes para estos artistas.

I was delighted to see in the Thyssen-Bornemisza collection the Cubist paintings by Picasso (*Man with a Clarinet*, 1911-12) and Braque (*Woman with a Mandolin*, 1910) which are perfectly suited to my discussion of both the fourth dimension and the invisible realities suggested by discoveries such as the X-ray and radioactivity that were so important for these artists.

*Texto traducido*

*From comments by Linda Henderson*

**František Kupka**  
**“Localización de móviles**  
**gráficos I”**  
**1912-1913**



En nuestra visión interna, fragmentos de imágenes flotan ante nuestros ojos. Para capturar estos fragmentos, inconscientemente trazamos líneas entre ellos, de modo que, estableciendo una red de relaciones, llegamos a un todo coherente. Estas líneas dibujadas para organizar nuestras visiones son como “puentes estereoscópicos de fragmentos en el espacio” [Kupka]. Para mí, esto visualiza tal vez la motivación más importante para la investigación científica. Viviendo en un mundo que la mayor parte del tiempo es confuso, intentamos encontrar el sentido de lo que nos rodea encontrando patrones, extrapolando nuestra experiencia pasada a predicciones para el futuro. En realidad, hacemos esto todo el tiempo inconscientemente. La ciencia es un método de formalizar y estructurar este proceso. Utilizamos las matemáticas como un lenguaje y como una herramienta para entender nuestro alrededor, incluyendo también las estrellas en incluso los inicios de nuestro Universo, intentando encontrar patrones para entender sus orígenes.

*Texto traducido*

*Valerie Domcke es una joven física alemana de la red euro/pea Invisibles, que trabaja en SISSA (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) Trieste, Italia.*

In our inner visions, fragments of images float before our eyes. In order to capture these fragments, we unconsciously trace lines between them and by thus setting up a network of relationships, we arrive at a coherent whole. These lines drawn to organize our visions are like 'stereoscopic bridges' from fragments in space" [Kupka]. For me, this visualizes maybe the most important motivation for scientific research. Living in a world which actually most of the time is pretty confusing, we try to make sense of our surroundings by recognizing patterns, by extrapolating from past experience to future predictions. We do this, always and unconsciously. Science is a method of formalizing and structuring this approach. We use maths as a language and as a tool to understand our surroundings, and we reach out to the stars and to the beginning of the universe, always trying to find patterns and to understand their origin.

*Original text: Valerie Domcke*

**Gino Severini**  
**“Expansión de la luz (Centrífuga y centrípeta)”**  
**c. 1913-1914**



Esta pintura es fascinante en cuanto a que comunica todos los elementos que van en la visión cuántica moderna de la luz, desarrollados en los mismos años. La granularidad evoca la naturaleza corpuscular de la luz, compuesta por fotones indivisibles (A. Einstein, 1905), pero los diferentes planos resaltan que la luz también es una onda que puede ser reflejada, refractada o hacer interferencias. En conjunto, se evoca la sensación de que hay un profundo misterio en la luz.

The painting is fascinating in that it communicates all the elements which go in the modern quantum vision of light, developed in the same years. Granularity recalls the corpuscular nature of light, made by indivisible photons (A. Einstein, 1905), but the different planes recall that light is also a wave which can be reflected, diffracted and made to interfere. All together, a sense that there is a deep mystery in the light is evoked.

*Texto traducido*

*Original text: Luciano Maiani*

*Luciano Maiani es un físico italiano y profesor en la Universidad de Roma I “La Sapienza”. Ha sido Director General del CERN (1999-2000).*



**Karl Schmidt-Rottluff**  
**“Sol sobre un pinar”**  
**1913**



En esta pintura vemos rayos de luz que emite el Sol sobre un bosque de pinos en la Tierra. Estos son rayos gamma, compuestos por fotones de alta energía, liberados por reacciones de fusión en núcleo del Sol.

Los rayos gamma no son las únicas partículas emitidas por el Sol. De las reacciones de fusión en nuestra estrella también se producen neutrinos. Estas partículas, a diferencia de los fotones, raramente interactúan con la materia y por lo tanto logran escapar del sol casi inmediatamente.

El primer experimento para detectar neutrinos del sol se llevó a cabo en 1968 con un detector en la mina de Homestake, Dakota del Sur. Desde entonces, un gran número de experimentos similares se han llevado a cabo. Durante mucho tiempo, las mediciones de la cantidad de neutrinos solares recolectados mostraban un número tres veces menor al predicho por la teoría. a este enigma se le conoció como el “problema de los neutrinos solares”. La discrepancia se resolvió en 2001 con el descubrimiento de las *oscilaciones de neutrinos*. Resulta que estas partículas son producidas en tres especies diferentes o *sabores*: electrónico, muónico y tauónico. Al propagarse, cambian de sabor y oscilan con respecto a su sabor original. De esta manera, los neutrinos producidos en el sol (de tipo electrónico) pueden llegar a la Tierra con un sabor diferente y por lo tanto menos de este tipo son detectados. El problema de los neutrinos solares y su solución son un ejemplo de cómo podemos usar observaciones astrofísicas para aprender las propiedades fundamentales de las partículas elementales.

Otras partículas hipotéticas podrían producirse en el sol, como los axiones. En particular, si los axiones existen, podrían ser producidos en el centro del Sol. Actualmente, hay un experimento en el CERN llamado CAST, que busca axiones provenientes del Sol. La detección de axiones solares constituiría un gran descubrimiento en la física de partículas, proveyendo un canal adicional para sondear el núcleo solar.

This potrait "Sol sobre un pinar" by Karl Schmidt-Rottluff (1913) represents the Sun sending "light bursts" towards a pinewood on the Earth. These bursts are high-energy gamma-ray photons released with fusion reactions in the core of the Sun. Visible gamma-rays are not the only burst of particles emitted by the Sun. Neutrinos are also released by the fusion reactions in the Sun core, but, unlike photons, they rarely interact with matter, so almost all are able to escape the Sun immediately.

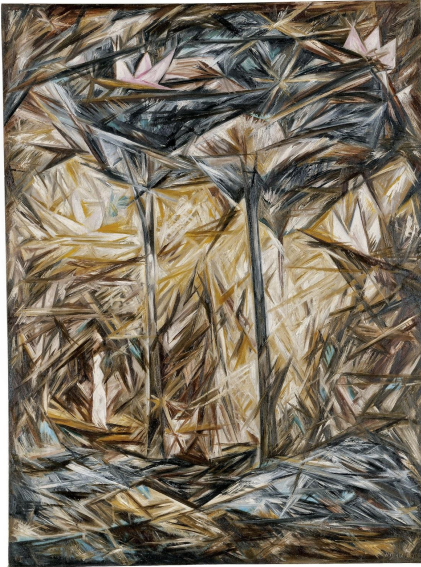
The first experiment attempting to detect the invisible neutrinos from the Sun was conducted by a detector in the bottom of the Homestake mine in South Dakota in 1968. Then underground experiments collecting solar neutrinos continued for four decades and are still ongoing. All the measurements of the number of solar neutrinos collected in different experiments were lower than theories predicted by a factor of 3. This puzzle was at the origin of the so called "Solar Neutrino Problem". This discrepancy was resolved in 2001 through the discovery of the effects of neutrino oscillations. Indeed, neutrinos are produced in three different species (called flavors): electron, muon, tauon flavors. When they propagate they can change their original flavor, i.e. their flavor oscillates. Consequently, the neutrinos emitted by the sun can be measured with a flavor different from the initial one and this produces the depletion in the number of the detected neutrinos. The Solar Neutrino Problem and its solution show how one can use astrophysical observations in order to learn about fundamental properties of elementary particles. Other hypothetical particles could be produced in the Sun, like axions. In particular, If axions exist, they may be produced in the Sun's core. Currently there is an experiment at CERN, called CAST, to search for axions originating from the Sun. The successful detection of solar axions would constitute a major discovery in particle physics providing also an additional channel to probe the solar core.

*Texto traducido*

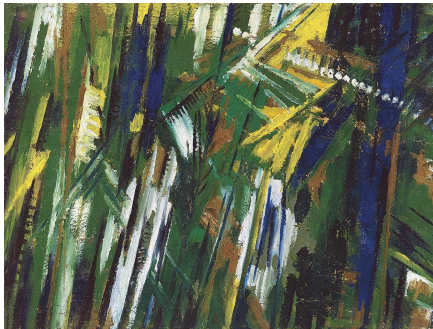
*Original text: Ninetta Saviano*

*Ninetta Saviano, es una joven física italiana de la red europea Invisibles y trabaja en la Univ. de Durham.*

**Natalia Goncharova**  
**“El bosque”**  
**1913**



**Mikhail Larionov**  
**“Calle con farolas”**  
**1913**



A inicios del siglo XX, un nuevo estilo de arte abstracto fue desarrollado en Rusia por Mikhail Loarionov y Natalia Goncharova, llamado “rayismo” o “rayonismo”. Fue mostrado en Rusia por primera vez en la exhibición “Target” en 1913. Se preocupaba por cómo la intersección de rayos de luz forma lo que parecen objetos desde la perspectiva de los artistas. Querían entender cómo el ojo percibe los objetos y cómo la mente humana los interpreta, usando como medio la pintura en lienzo para expresar este proceso. En palabras de Goncharova: “No percibimos el objeto con nuestro ojo, como generalmente se suele concebir en las pinturas como resultado de algún mecanismo; de hecho, no percibimos el objeto como tal. Percibimos una suma de rayos procediendo de una fuente de luz; estos se reflejan en el objeto y entran en nuestro campo de visión”.

Esta es una descripción acertada de cómo funciona el ojo humano. Si miramos a una manzana, la manzana misma no está emitiendo rayos de luz hacia nuestro ojo, sino que más bien rayos de luz del Sol se reflejan en su superficie y entran en nuestro ojo. Nuestro cerebro interpreta entonces esta suma de todos estos rayos reflejados en la superficie de la manzana y los pone juntos para formar una imagen completa de la manzana.

Como Larionov explica: “el espectador nunca ve el propio objeto, sino la suma de los rayos que llegan a su ojo. Por tanto, el artista debe pintar aquello que hay entre él y el objeto. El arte está basado tanto en lo que el artista sabe como en lo que ve”.

Estos artistas se ven a sí mismos como científicos, utilizando nuevas innovaciones en la ciencia para influir en cómo pintan. Los humanos sólo percibimos la luz en el espectro visible, y ni siquiera vemos los propios rayos, sino las imágenes resultantes que nuestro cerebro interpreta. El rayismo quería pintar como si pudiéramos ver físicamente los rayos en el lienzo, y cómo la suma de todos da lugar al objeto.

Como vemos en “El bosque”, hay una mujer en un bote en un bosque. La mujer y el bote no están pintados directamente, sino que son figuras que emergen de una plétora de rayos que se reflejan en el denso bosque que los rodea. El cuadro de Larionov se concentra mucho más en los rayos, y necesita de la interpretación del propio espectador acerca de qué en qué objetos se reflejan los rayos.

Existen más tipos de rayos de luz que no podemos ver, como las microondas, las ondas de radio, la luz infrarroja, los rayos ultravioleta y los rayos X. Estos dos últimos habían ya sido descubiertos, y se popularizaron en círculos rusos de arte contemporáneo, pues la idea de nuevas maneras de mirar al

In early 20th century Russia a style of abstract art was developed by Mikhail Larionov and Natalia Goncharova, called "Rayism" or "Rayonism". It was first exhibited in Russia in the Target exhibition of 1913. It concerned itself with how the intersection of light rays form what appears to be objects from the artists perspective. They wanted to understand how the eye perceives objects and how the human mind interprets them, and use the medium of paint on canvas to express this process. As Goncharova states: "We do not sense the object with our eye, as it is depicted conventionally in pictures and as a result of following this or that device; in fact, we do not sense the object as such. We perceive a sum of rays proceeding from a source of light; these are reflected from the object and enter our field of vision"

This is an accurate description of how the human eye works. If we look at an apple, the apple itself is not emitting light rays into our eyes, but rather rays of light from the sun are reflecting off the apples surface and entering our eye. Our brain then takes the sum of all these light rays reflecting of each bit of the apple and adds them together to form a complete image of an apple.

As Larionov himself explains: "As the spectator never sees the actual object, but only the sum of those rays that reaches his eyes, it follows that the artist should paint that which lies between him and the object. The fact that these rays are invisible are immaterial, since art is based as much as on what the artist knows as on what he sees."

These artists saw themselves as scientists, using new innovations in science to influence how they paint. We humans only see light in the visible spectrum, and we do not even see the rays themselves, but only the resultant images that form from our brain interpreting the rays entering our eyes. Rayism wanted to paint as if we could physically see the rays on a canvas, and how the sum of these rays forms an object.

As we can see in "The Forest", there is a woman on a boat in a forest. The woman and the boat are not depicted directly but as shapes emerging from the plethora of rays that are being reflected from the dense forest and trees around them. Larionov's painting focuses much more on just the rays, and relies on the viewers own interpretation of which objects the rays are reflecting off.

There exists many more types light rays that we can not directly see, such as, Radio Waves, Microwaves, Infrared light, Ultra Violet rays and X-rays. These are all the same as rays of visible light, they are all Electro-Magnetic Radiation, but they

## Español

mundo fue muy inspiradora. Este concepto de ser capaces de ver a través de nuevos rayos de luz ayudó a desarrollar el rayismo.

*Texto traducido*

*Mark Ross-Lonergan es un joven físico irlandés de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Durham (Reino Unido).*

## English

are at different frequencies that we cannot detect with our eyes.

X-rays and UV rays had recently been discovered and had been popularised in Russian contemporary art circles, as the idea of new ways of looking at the world was hugely inspirational. This concept of being able to see through new light rays helped fuel the development of Rayism.

*Original text: Mark Ross-Lonergan*

**Wassily Kandinsky**  
**“Pintura con tres manchas, no. 196”**  
**1914**



El cuadro de Kandinsky *Pintura con tres manchas, no. 196* entronca con los nuevos descubrimientos científicos (el “colapso del átomo”) así como con la creencia generalizada durante aquel período en el éter del espacio.

The Kandinsky *Picture with Three Spots, No. 196* of 1914 relates to the new scientific discoveries (the “crumbling of the atom”) as well as the general belief in this period in the ether of space.

*Texto traducido*

*From comments by Linda Henderson*



La idea de que la materia está compuesta por unidades discretas viene desde la antigüedad. En la Grecia antigua se creía que la partícula más pequeña e indivisible era el átomo. Ahora sabemos que el átomo está compuesto de electrones y nucleones -protones y neutrones-, que a su vez están compuestos por tres partículas más pequeñas llamadas quarks. Los quarks no pueden encontrarse aislados en la naturaleza, pero se encuentran siempre en grupos de dos o tres quarks que forman hadrones (los nucleones son un ejemplo de hadrones), y este fenómeno se llama confinamiento de color. La fuerza que agrupa los quarks en hadrones, la interacción fuerte, tiene propiedades muy diferentes de las fuerzas a las que estamos acostumbrados. Por ejemplo, sabemos que al separar dos imanes, la fuerza de atracción entre ellos se reduce conforme aumenta la distancia. Pero esto no sucede con los quarks. En su caso, la fuerza de atracción se incrementa con la distancia. Pero esto no es lo que sucede en los hadrones. En un experimento hipotético, si uno trata de separar un par de quarks, eventualmente será energéticamente más favorable que aparezca un par quark-antiquark que que siga aumentando la distancia original.

La imagen de que un protón está compuesto por solo tres quarks no es del todo correcta. De hecho, estos quarks contribuyen sólo el 1% de la masa del protón. El resto proviene de pares quark-antiquark y gluones - los portadores de la interacción fuerte. Así, en lugar de imaginar al protón solo como un conjunto de tres partículas más pequeñas, debemos imaginarlo como una bola de energía, un “mar” de quarks y gluones, cuya dinámica interna es muy complicada.

Los protones juegan un papel muy importante en los experimentos de física. Las colisiones de protones y antiprotones se usan en el CERN para probar nuestro conocimiento actual de las partículas elementales y buscar física nueva. Medir la abundancia de elementos ligeros en las

The idea that matter is made up of discrete units comes from very old times. In ancient Greece it was believed that the smallest indivisible particle was the atom. Now we know that the atom is composed of electrons and nucleons-proton and neutron, that are, further on, composed of three smaller particles called quarks. Quarks cannot be found isolated in nature, but are always in groups of two or three quarks forming hadrons (nucleons are one example of hadrons), and this phenomena is called color confinement. The force that groups quarks into hadrons, strong interaction, has properties very different from those of the forces we are used to experience. For example, we know that if we try to separate electrically a charged object from the magnet, the force of attraction will be weaker and weaker the further we separate them. But, this is not what is happening in hadrons. In a hypothetical experiment, if one tries to separate a pair of quarks, eventually it will be energetically more favourable for a pair of quark-antiquark to spontaneously appear, than to increase more the distance between original quarks.

The image of a proton made up of only three quarks is not quite correct. Actually, these quarks form only 1% of proton mass. The rest comes from quark-antiquark pairs and gluons- the carriers of strong interactions. So, instead of imagining a proton just as a clear set of three smaller particles, we should imagine it as an energy ball, a 'sea' of quarks and gluons, which internal dynamic is very complicated.

Protons have important role in physics experiments. The collisions of protons- antiprotons are used in CERN to test our current knowledge of elementary particles and search for new physics. Measuring the abundance of light elements in stars, ie proton to neutron ratio, gives us valuable information about history of the early universe from a few tenths of a second to up to 1000 seconds after Big Bang.

estrellas, es decir, la razón entre protones y neutrones, nos da información valiosa sobre la historia del universo temprano desde unas pocas décimas de segundo hasta mil segundos después del Big Bang.

*Texto traducido*



Este cuadro tiene resonancias cósmicas. Hay tres grandes manchas en la pintura con el número 3 escrito en el centro. En muchas civilizaciones del planeta este número se asocia con la divinidad y lo completo. En el sentido cosmológico, hay tres entidades distintas en nuestro universo – la materia bariónica, la materia oscura y la energía oscura. Sabemos bastante sobre la primera, pero tanto la materia oscura como la energía oscura son misterios. Este cuadro tiene también su propio conjunto de misterios. Hay un rostro de hombre que engloba esos misterios y es análogo a nuestro universo. Se puede distinguir claramente el ojo derecho y la cara mientras que el resto está lejos de ser obvio a primera vista, pero las áreas en azul y verde dan la impresión de una persona anciana tratando de entender lo que yace ante ella.

*Texto traducido*

*Abhass Kuma es un joven fisico indio que trabaja en HRI (Harish Chandra Research Institute), India.*

*Original text: Marija Kekic*

*Marija Kekic es una joven fisica serbia de la red Invisibles, que trabaja el Instituto de Fisica Corpuscular (Universidad de Valencia), donde está realizando sus estudios de doctorado.*



This picture has a cosmic touch to it. There are three large spots in the picture with the number 3 written in the center. In many civilizations across the world, this number is associated with divinity and completeness. Cosmologically speaking, there are three distinct entities in our universe - baryonic matter, dark matter and dark energy. We know quite a lot about the first but both dark matter and dark energy are mysteries. This painting also has its own set of mysteries. There is a man's face that encompasses those mysteries and is akin to our universe. One can make out the right eye and the mouth clearly while the rest of it quite unobvious at first but the blue and green patches give the impression of an old person trying to understand what lies in front of him.

*Original text: Abhass Kumar*

**Amedeo Modigliani**  
**“Cabeza de Mujer”**  
**1915**



A pesar de los pocos trazos sobre el lienzo, es posible reconocer con claridad un rostro en esta pintura. Hasta es posible discernir que se trata del rostro de una mujer y algunas de sus características aún cuando los detalles esbozados son mínimos. Basta con el contorno aquí mostrado para imaginar la pintura en su totalidad. Cuando observamos el cosmos y vemos la multitud de estrellas y galaxias que nos rodean, esto es tan sólo un esbozo de lo que está allá fuera. El resto es *materia oscura* y esta constituye el 85% del contenido de materia en nuestro universo. Sin embargo, la observación de la materia visible es suficiente para darnos una idea del mundo de la materia oscura y empezar a imaginar cómo se ve el resto de la pintura. En la actualidad, los científicos estudiamos el esbozo cósmico para develar los secretos que hay detrás, con la esperanza de encontrar ahí pistas sobre la naturaleza elusiva de la materia oscura.

*Texto traducido*

*Peter Barrow es un joven físico británico de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Zurich.*

Despite the small fraction of the canvas that have been painted, one can still resolve a face clearly depicted here.. One may even discern that this is a painting of a woman, amongst other features despite minimal details. The outline here is all that is required in order to imagine the entire painting. Dark Matter constitutes 85% of the matter content of the universe. When we gaze out into the universe and observe the multitude of stars and galaxies surrounding us, we are given merely an outline of the universe. This outline, however, gives us insight into the world of dark matter, such that we can begin to postulate how the rest of this painting may look. Scientists currently study this cosmic outline to unravel the secrets held within it in the hope that clues as to the nature of dark matter can be found there.

Original text: Peter Barrow

Español

English

**Kurt Schwitters**  
**“Merzbild 1A (El psiquiatra)”**  
**1919**

Fantástico juego con la geometría.

Fantastic play with geometry.

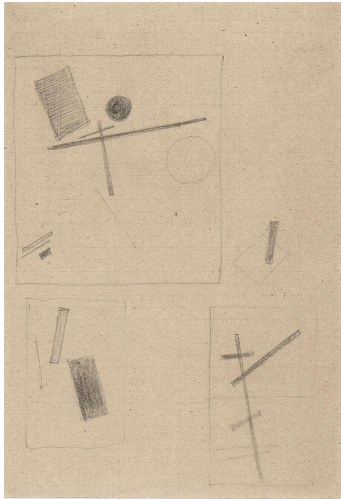
*Texto traducido*

*Original text: Abhass Kumar*



*Abhass Kumar es un joven físico indio que trabaja en HRI  
(Harish Chandra Research Institute), India.*

**Kazimir Malevich**  
**“Suprematist Drawings”**  
 ca. 1919



El cuadro neoplasticista de Mondrian y el suprematista de Malevich, son dos representantes genuinos de la abstracción geométrica en pintura que tienen una conexión estrecha con paradigmas del Análisis Matemático, tales como la Teoría de Integrales Singulares y el Teorema Fundamental del Cálculo dentro de la teoría de la medida de Lebesgue. En cuanto a las pinturas cubistas, de Picasso o Juan Gris, o las divisionistas de Derain y Henri- Edmon Cross, sirven para ilustrar, respectivamente, las relaciones de la pintura con la Topología y la Teoría de Conjuntos.

These Mondrian's neoplasticist and Malevich's suprematist paintings constitute two genuine representatives of mathematical abstraction in painting, which have a close connection with paradigms of Mathematical Analysis, such as the Theory of Singular Integrals and the Fundamental Theorem of Calculus within Lebesgue's Measurement Theory. On the other side, cubist paintings from Picasso or Juan Gris, or the divisionist ones from Derain and Henri-Edmon Cross, serve to illustrate, respectively, the relation between painting and Topology and Ensemble Theory.

*Texto: Antonio Córdoba*

*Translated text*

*Antonio Córdoba es un matemático español que trabaja en el Instituto de Ciencias Matemáticas ICMAT (CSIC-UAM). Es también un reputado divulgador científico y es ponente en las sesiones de divulgación de la conferencia.*

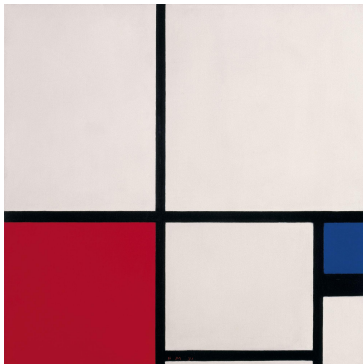
Las secciones espaciales del Universo a gran escala se describen por un espacio Euclideo.

The painting describes the spatial sections of the Large Scale Universe as described by Euclidean space.

*Texto original: Juan Garcia-Bellido*

*Translated by the author*

**Piet Mondrian**  
**“Composición de colores /**  
**Composición n.º I con rojo y**  
**azul”**  
 1931



*Juan Garcia-Bellido es un físico español y profesor en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT UAM-CSIC).*



**Varvara Fedorovna Stepanova**  
**“Jugadores de Billar”**  
**1920**



En esta pintura, Varvara Stepanova presenta a un grupo de personas jugando al billar. Su técnica, que reduce la escena a una composición de figuras geométricas básicas, refleja un aspecto esencial del enfoque de los físicos: cuando quieren analizar algún fenómeno natural, los físicos empiezan siempre esquematizando su tema y describiéndolo en una manera matemática y geométrica. En el cuadro encontramos sólo elementos gráficos muy sencillos: líneas rectas y colores esenciales, pero esto es suficiente para que las figuras humanas y sus actividades sean reconocibles. Simplemente desde la disposición de los rectángulos y círculos, el observador puede adivinar las emociones de algunos de los personajes (por ejemplo la persona que levanta sus brazos, al centro del lienzo). Tal y como hacen los físicos, Stepanova esquematiza la realidad y usa elementos inmediatos y simples para comunicar la información básica necesaria para entender la imagen. El poder de este enfoque es su generalidad: las formas geométricas representan a cualquier persona en la misma manera, independientemente de su sexo, edad, origen o personalidad. El conjunto de emociones y comportamientos pintados por la artista no están colocados en el tiempo ni en el espacio, sino que existen cada vez que un grupo de personas se reúne para jugar al billar. En la misma manera, los mismos principios físicos se pueden encontrar en fenómenos naturales muy diferentes: de hecho podemos entender por qué las manzanas caen de los árboles o calcular a qué velocidad orbitan los planetas alrededor del Sol gracias a la misma (simple) ecuación!

In this painting Varvara Stepanova presents a group of people playing billiard. Her technique, which reduces the scene to a composition of basic geometric figures, mirrors an essential aspect of the physicists' approach: when they want to analyze some natural phenomenon, physicists always begin by schematizing their subject and describing it in a mathematical and geometric way. In the painting we find only very simple graphic elements: straight lines and essential colors, but this is sufficient to make the human figures and their activities recognizable. Just from the disposition of rectangles and circles, the observer can even guess the feelings of some of the characters (for example the person raising his arms, in the canvas center). Just like physicists do, Stepanova schematizes reality and uses immediate and simple elements to deliver the basic information needed for understanding the picture.

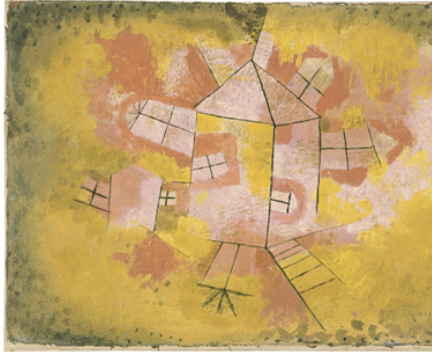
The power of this approach is its generality: geometrical shapes represent any person in the same way, no matter of what sex, age, origin or personality. The ensemble of feelings and behaviors depicted by the artist is not set in time nor space, but exist whenever a group of people gather to play billiard. In the same way, the same physics principles can be found in very different natural phenomena: indeed, we can understand why apples fall from trees or compute at what speed planets orbit around the Sun thanks to the same (simple) equation!

*Texto traducido por la autora*

*Original text: Ilaria Brivio*

*Ilaria Brivio es una joven física italiana de la red  
 europeainvisibles, que trabaja en el Instituto de Física Teórica  
 IFT UAM-CSIC (Madrid).*

**Paul Klee**  
**“ Casa giratoria”**  
**1921**



Muestra una representación artística de una vista en 5 dimensiones de la casa con la quinta dimensión compactificada en un círculo.

It represents the artistic representation of the 5-dimensional view of the house with the 5th dimension compactified on a circle.

*Texto traducido*

*Original text: Stefano Rigolin*

*Stefano Rigolin es un físico italiano y profesor en la Universidad de Padova, Italia.*

❧❧❧

❧❧❧

En esta pintura, Klee toma la arquitectura, estática y estructurada, pero rechaza el concepto de una única perspectiva o punto de vista.

Aunque se puede considerar al objeto como dinámico y al observador estático, también se puede ver como algo estático visto desde muchos ángulos diferentes simultáneamente. De la misma manera, las leyes físicas del universo son los objetos estáticos que los físicos queremos explorar. Sin embargo, al hacerlo, no es posible tomar una perspectiva única, sino que se deben encontrar nuevas formas de ver el universo que nos rodea y desarrollar nuevos métodos para sondear sus constituyentes y la manera en que estos se comportan.

In this painting, Klee takes architecture, static and constructed, but rejects the single traditional perspective and the unique point of view. Although one can consider the object as dynamic and the observer as static, one can also see it as the viewing of something static from many different angles simultaneously. In the same way, the physical laws of the universe are the static objects we physicists wish to explore. However, doing so one can never take a single perspective, but instead one must always devise new ways to view the universe around us, and develop new methods to probe its constituents and the way these behave.

*Texto traducido*

*Original text: Johannes Bergström*

*Johannes Bergström es un joven físico sueco de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Barcelona.*

**Wassily Kandinsky**  
**“ Sin Título”**  
**1922**



Kandinski hace composiciones que son de una belleza increíble y que transmiten la sensación de que son super sencillas y fáciles de reproducir, cuando guardan una armonía y una complejidad envidiables. El pintor combina elementos sencillos, casi primarios, y logra una síntesis en la que el conjunto es infinitamente superior a la suma de sus elementos. En ese sentido sí que hay cierta relación con la física (supongo que es su antítesis). Nosotros tratamos de descubrir unas leyes sencillas que se esconden en fenómenos aparentemente complejos; Kandinski construye composiciones complejas con elementos sencillos.

Kandinski's compositions are unbelievably beautiful and transmit the impression of being extremely simple and easy to reproduce, when in fact they possess an enviable harmony and complexity. The painter combines simple elements, almost primitive, and succeeds in obtain a synthesis such that the ensemble is infinitely superior to the sum of its elements. In this sense there is some relation with physics (maybe its antithesis). We try to discover simple laws hidden behind apparently complex phenomena; Kandinski builds up complex compositions with simple elements.

*Texto original: Gabriela Barenboim*

*Translated text*

*Gabriela Barenboim es una física de origen argentino y profesora de la Universidad de Valencia.*

**Wassily Kandinsky**  
**“Around the line”**  
**1943**



**Paul Klee**  
**“Bodegón con dado”**  
**1923**



Klee procede de una manera analítica, reduciendo los objetos a sus propiedades geométricas y ópticas - volumen, color, equilibrio, masa, orientación. En el proceso, la belleza del objeto se sublima, obtienen relieve en el espacio, respiran, adquieren personalidad. Después de todo, la mirada del observador de la realidad es cálida y cariñosa. Las figuras emergen del ambiente, resaltadas sobre un fondo oscuro que no admite inteligencia.

Klee proceeds in analytic manner, reducing the objects to their geometrical and optical properties - volume, colour, equilibrium, mass, orientation. In the process the objects' original beauty is sublimated, they obtain relief in space, they breath, acquire a personality. After all, the observer's look on reality is warm and caring. The figures emerge from the environment, highlighted over an obscure background that does not admit intelligence.

*Texto traducido*

*Original text: Michele Frigerio*

*Michele Frigerio es un físico italiano, que trabaja en el CNRS (en Montpellier, Francia).*

**Sonia Delaunay-Terk**  
**“Vestidos simultáneos (Tres mujeres, formas, colores)”**  
**1925**



**Familias de partículas**

Me temo que, como físico y no experto en arte, mi apreciación del arte es bastante ingenua. A pesar de ello, algo ha llamado mi atención: la constante aparición de tres objetos que, aunque a primera vista parecen diferentes, comparten muchas propiedades intrínsecas. Esto por supuesto tiene una larga historia en el Arte y en la sociedad en general, teniendo sus raíces en la estética, en cómo los humanos percibimos y construimos la belleza. Los humanos llevan esto a cabo artificialmente, y uno podría decir que esta idea se condensa en esta pintura. Una situación similar ocurre en la Naturaleza, y lleva desconcertando a los físicos desde 1936, cuando una nueva partícula, llamada el muón, fue descubierta. El muón es el hermano mayor del electrón, y es idéntica a él salvo por el hecho de que es varias veces más pesado. Mientras que el electrón es la partícula responsable de mantener unidos a los átomos, y por tanto de permitir que la materia (la vida y todo lo que nos rodea) exista tal y como la conocemos, el muón no tiene realmente una función. Un físico famoso dijo: “¿quién ha pedido esto?”. Para complicar aún más las cosas, en 1977 se descubrió la partícula tau, una versión con más masa del muón y el electrón. A lo largo de los años se ha descubierto que todas las partículas que conocemos vienen con dos copias más pesadas de ellas. Lo interesante es que nadie sabe por qué. Hoy en día, los físicos están razonablemente seguros de que hay tres copias de cada partícula que existe. En los últimos años además se ha descubierto que a veces las partículas pueden cambiar de identidad y convertirse en una de sus copias. Por suerte, esto nunca pasa con los electrones, y ocurre principalmente entre las partículas más ligeras que conocemos: los neutrinos. Estas partículas son producidas, por ejemplo, en el centro del sol, donde se son necesarias en los procesos que hacen que el sol brille. No obstante, tienen la particularidad de que para ellos la Tierra es tan transparente como un cristal para la luz, lo que hace que encontrarlos y medir sus propiedades sea muy complicado. Por supuesto, existen tres copias de los neutrinos y cambian de “personalidad” constantemente. Esto hace pensar a los físicos que tal vez no deban verse como tres cosas distintas, sino que existe un principio bajo el cual son idénticas y que además explique por qué hay exactamente tres. Existen muchas ideas, pero, de nuevo, nadie sabe a día de hoy cuál es este principio, si es que existe.

*Texto traducido*

**Particle families**

To me as a physicist and non-expert in art, I am afraid that my appreciation of art has to remain rather naive. Nevertheless one thing sprang to my eye: The constant recurrence of three objects that seem to appear different on the outside but still share many intrinsic properties. This of course has a long history in art and society generally and is rooted in aesthetics, in how humans perceive and construct beauty. This is realised artificially by humans and, concerning the paintings on exhibition here, one could say that in a way this idea can be found condensed into the painting "Simultaneous Dresses". A similar situation occurs in nature and puzzles physicists since at least 1936, when a new particle, today called the Muon, was discovered. The Muon is the bigger brother of the Electron and is nearly identical to it, except for being a few times heavier. While the electron is the particle that is responsible for binding atoms together and thereby enabling matter as we know it and life and all the things surrounding us, the muon really has no function at all. A famous physicist once asked "Who ordered that?". And to make things worse, an even heavier copy of the Electron and Muon, the Tau particle, was discovered in 1977. Over the years it was found that all types of particles come with two heavier copies each. And the interesting thing about it is that nobody knows why. Today, physicists are reasonably sure that exactly three copies of each particle type exist. However, in the meantime it was discovered that sometimes particles can switch their identity with one of their copies. This luckily never happens for electrons and occurs mostly for the lightest of all known particles, the so-called neutrinos. These particles are for example produced in the centre of the sun where they are needed for the processes that make the sun shine. However, they have the tricky property that for them, the earth is as transparent as glass for light which makes finding them and measuring their properties very difficult. And of course, three copies of neutrinos exist and they exchange personalities wildly and constantly. This makes physicists think that maybe these three copies should not be seen as being different but that some principle exists under which they coincide and that also explains why there are exactly three of them. There are many ideas but again, nobody knows at least until today what this principle could be.

*Original text: Thomas Neder*

*Thomas Neder es un joven físico alemán de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Southampton.*

**Georgia O'Keefe**  
**“Calle de Nueva York con luna”**  
**1925**



La Luna representa las cosas que quisiéramos conocer pero que aún son inaccesibles, como, por ejemplo, el Big Bang o la elevada escala de energía de las teorías de Gran Unificación. Sin embargo, podemos estudiar cosas donde hay “luz”, como en esta pintura. Nuestra “luz” está representada por experimentos como el LHC. Esperamos que esto ilumine también las escalas que no podemos observar directamente.

The Moon represents the things that we would like to know, but are still inaccessible at the moment, i.e. the high energy scale of Grand Unification, the Big Bang. Nevertheless we can study things where there is “light” like in this portrait. Our “light” is represented by experiments, like e.g., LHC. We hope that this would shed light also on the scales we cannot probe directly.

*Texto traducido*

*Original text: Ninetta Saviano*

*Ninetta Saviano es una joven física italiana de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Durham (Reino Unido).*

**Marc Chagall**  
**“El gallo”**  
**1928**



Los físicos de partículas se pasan gran parte de su vida mentalmente inmersos en la muy pequeña escala de la física subatómica, donde estas diminutas cosas parecen inmensas. En esta pintura vemos un animal, por lo general pequeño, aumentado a un tamaño enorme y abrazado por una persona de una forma que me recuerda a como acogemos mentalmente nuestras construcciones en lo que respecta a la naturaleza de las cosas pequeñas.

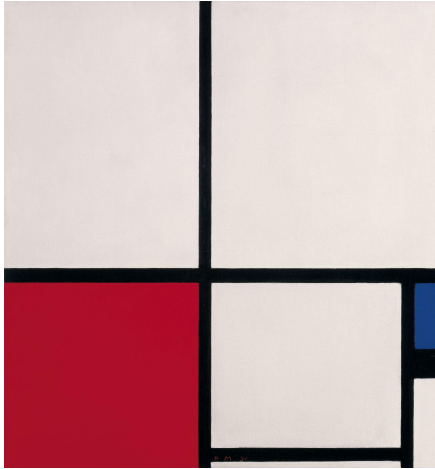
Particle physicists spend much of their lives mentally immersed in the very small scale of subatomic physics, where these tiny things loom immense. This painting shows a usually small animal blown up to enormous size and being physically embraced by a person in a way that reminds me of the way we mentally embrace our mental constructs about the nature of tiny things.

*Texto traducido*

*Original text: Ann Nelson*

*Ann Nelson es una física norteamericana y profesora en la Universidad de Washington, Estados Unidos.*

**Piet Mondrian**  
**“Composición de colores /**  
**Composición n.º I con rojo y**  
**azul”**  
**1931**



De una manera similar a Piet Mondrian, quien redujo un cuadro a sus componentes fundamentales, líneas de estructuración y colores primarios, la física de partículas reduce todo nuestro Universo a sus bloques de construcción fundamentales y sus interacciones. La asombrosa diversidad del mundo que nos rodea simplemente viene de sus diversas combinaciones.

In a way similar to Piet Mondrian who reduced a picture to its fundamental components, structuring lines and primary colors, particle physics reduces our whole Universe to its fundamental building blocks and their interactions. The astonishing diversity of the world that surrounds us simply comes from their various combinations.

*Texto traducido*

*Original Text: Cedric Weiland*

*Cedric Weiland es un joven físico francés, que trabaja en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT UAM-CSIC).*



**René Magritte**  
**“La Clef des champs”**  
**1936**



### Simetrías rotas

La simetría es un bello y poderoso concepto en Física. Podemos definir la simetría como una operación en la que cambiamos los componente de un sistema sin que cambien las propiedades del sistema. Considérese por ejemplo una esfera: se rote como se rote, al final la esfera es idéntica a la que teníamos originalmente; decimos que la esfera es “invariante bajo rotaciones”. Las simetrías nos ayudan porque nos dicen lo que es importante al resolver un problema y qué tipo de soluciones se esperan obtener; para entender el grado de importancia que tienen, téngase en cuenta que cada interacción o fuerza conocida están descritas mediante un principio de simetría. Puede ocurrir, sin embargo, que una simetría esté presente, pero no la veamos directamente: es lo que llamamos una simetría oculta o rota. Sin embargo, sabemos que una simetría rota deja una marca, una señal, por la cual podemos entender que la simetría está ahí, aunque no sea aparente. Por ejemplo, sabemos que las masas de las partículas elementales se debe a una simetría rota, y podemos inferir esto debido a una peculiar conexión entre la manera en las partículas interactúan y sus masas.

El concepto de simetrías rotas ha representado un importante progreso en la manera en que entendemos las leyes de la Naturaleza: la manera en la que describimos las interacciones entre partículas (basada en un principio de simetría como hemos dicho) sólo funciona si estas no tienen masa y esto parecía en contradicción con lo que observamos; el problema desapareció cuando la existencia de masas no nulas se entendió como consecuencia de la rotura de las mismas simetrías que causan las interacciones.

*Texto traducido*

*Michele Lucente es un joven físico italiano de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Paris-Sud, Orsay, Francia.*

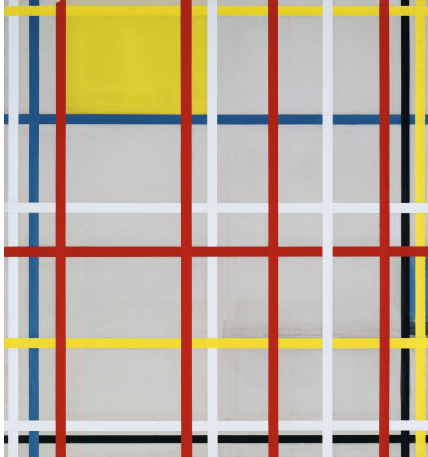
### Broken symmetries

The concept of symmetry is a very beautiful and powerful one in physics. We can define a symmetry as the operation of exchanging some of the components of a system without changing the system itself. Consider for example a sphere: you can rotate it in the way you want but at the end of this operation your sphere will be exactly the same as the original one; we say that the sphere is invariant under rotations. Symmetries help us because they tell what is important in solving a problem and which kind of solution we should expect; to understand their importance just think that each kind of interaction we know is described using a symmetry principle. It may happen, however, that a symmetry is present, but we do not directly see it: we call it an hidden or broken symmetry. We nevertheless know that a broken symmetry leaves its fingerprints, from which we can understand that the symmetry is there, although it is not manifest. For instance, we know that the masses of the fundamental particles are due to a broken symmetry, and we can infer this because of some peculiar relations that we observe connecting the way in which the particle interact and their masses.

Broken symmetries represented an important breakthrough in our comprehension of the laws of nature: the way in which we describe the interactions between particles (based as said on a symmetry principle) only works if particle are massless and this seemed to be in contradiction with what we observe; that issue disappeared when the existence of nonzero masses was understood as the consequence of the breaking of the very same symmetries causing interactions.

*Original text: Michele Lucente*

**Piet Mondrian**  
**“New York City, 3 (unfinished)”**  
**1941**



**La jaula que hace visible los invisibles**

Lo invisible a nuestros ojos se puede hacer visible mediante el uso de maquinarias sofisticadas que trabajan solapando diferentes tipos de redes, representadas por las diferentes líneas de colores. La búsqueda de lo invisible es como ser un pescador que usa redes específicas para atrapar diferentes tipos de peces.

*Texto traducido*

*Luca Merlo es un joven físico italiano que trabaja en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT-UAM/CSIC).*

**The cage that makes visible the invisibles**

The invisibles to our eyes can be made visible by the use of sophisticated machineries, that work overlapping different type of nets, represented here by the different coloured lines. The search of the invisibles is like being a fisherman that uses specific nets to catch different type of fishes.

*Original text: Luca Merlo*

**Salvador Dalí**  
**“Sueño causado por el vuelo de una abeja alrededor de una granada un segundo antes del despertar”**  
**1944**



Es un cuadro que siempre me ha gustado mucho y que me produce "evocaciones cuánticas". Hay conceptos fundamentales en física cuántica, pero poco intuitivos en nuestra experiencia diaria, como la superposición o la interferencia a los que es fácil asociar propiedades surrealistas y oníricas. Por ejemplo, un fenómeno intrínsecamente cuántico es la "oscilación de neutrinos" que consiste en el cambio de propiedades de un neutrino en vuelo. En el cuadro se puede ver a la granada oscilando en un pez que luego oscila en un par de tigres que oscilan a una bayoneta como si fueran neutrinos viajando. Imagino que la abeja terminó picando a Gala...

*Texto original: Enrique Fernández*

*Enrique Fernández es un físico español y profesor de la Universidad Autónoma de Madrid (IFT UAM-CSIC).*



El cuadro representa teóricamente el sueño de Gala provocado por el zumbido de una abeja alrededor de una granada, un segundo antes de su despertar. Pero en un físico teórico puede provocar otras interpretaciones. El zumbido de la abeja nos da una vista instantánea (el tiempo está congelado) de la estructura del universo. De la granada (átomo) se revela su estructura de pez (protones, neutrones) que a su vez contienen tigres (quarks) que a su vez...subyacente yace una bella teoría (Gala). La teoría levita sobre un terreno baldío... La teoría es un constructo paralelo pero no idéntico a la realidad (roca). En la lejanía vaga un elefante cargando trabajosamente la pirámide del saber obsoleto...con sustentación cada vez más débil está a punto de colapsar.

*Texto original: Luis Ibáñez*

*Luis Ibáñez es un físico español y profesor en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT UAM-CSIC).*



This is a painting I have always enjoyed and that somehow triggers "quantum reminiscences" in me. Concepts such as superposition or interference of states form the very core of quantum physics, but at the same time are far from our everyday experience and its easy to give them a surreal or dreamlike aspect. For example, "neutrino oscillations" is an intrinsically quantum phenomenon through which neutrinos change their properties in flight. In the painting the pomegranate oscillates to a fish, which then oscillates to a couple of tigers that oscillate to a bayonet like a neutrino on its way.

I imagine the bee stung Gala in the end...

*Original text: Enrique Fernández*



This painting represents in principle the dream of Gala caused by the flight of a bee around a pomegranate a second before awakening. But for a theoretical physicist it can provoke other interpretations. The buzzing of the bee give us an instantaneous view (time is frozen) of the structure of the universe. From the pomegranate (atom) its fish structure (protons, neutrons) is revealed, which in turn contains tigers (quarks) which in turn.... underlying is seen a beautiful theory (gala). The theory levitates over barren land...The theory is a construct which is parallel but is not identical to reality (the rock). In the distance an elephant wanders overloaded by the pyramid of obsolete wisdom...with very feeble sustentation he is close to collapse.

*Text translated by the author*



## Español

En mi opinion se podria ver como estructuras dentro de estructuras mas complejas, como por ejemplo "los quarks dentro de los nucleones, dentro del nucleo, dentro del atomo, dentro de la molecula, dentro de la celula, dentro del organismo, dentro del ecosistema, dentro del mundo, dentro del sistema solar, dentro de la galaxia y dentro del universo".

*Texto original: Juan Garcia-Bellido*

*Juan Garcia-Bellido es un fisico español y profesor en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT UAM-CSIC).*

## English

The painting describes the complexity of structures within structures, like quarks within nucleones, within the nucleus, within the atom, within the molecule, within the cell, within the organism, within the ecosystem, within the world, within the solart systema,within the galaxy, in the Universe.

*Text translated by the author*

**Jackson Pollock**  
**“Marrón y Plata I”**  
**c. 1951**



### Invariancia bajo un cambio de escala

¿Es esta pintura parte de otra pintura más grande? Si sólo vemos la mitad de este cuadro, ¿seríamos capaces de decir que falta algo? ¿Está acaso boca abajo? Estas preguntas son difíciles de contestar en la mayoría de los cuadros de Pollock. En física este concepto se conoce como “invariancia bajo cambios de escala”: a veces, la noción de un tamaño de referencia se pierde y todos los tamaños parecen equivalentes. Si hubiese invarianza bajo cambios de escala en la naturaleza, esto sería un desastre: no habría diferencia entre “pequeño” y “grande”, los átomos no se formarían y no existiría vida. Pero ¿por qué debería elegir la naturaleza una escala en particular como referencia? ¿Y por qué precisamente la escala debida a la cual puede florecer la vida? Curiosamente, la naturaleza cuántica de las leyes de la Física previene que exista una invariancia bajo cambios de escala absoluta. Nos dice que, si en un momento determinado la naturaleza parece ser insensible a los tamaños, sigue mirando y encontrarás que esta invariancia bajo escala desaparece.

*Texto traducido*

*Pedro Machado es un joven físico brasileño de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT UAM-CSIC).*

### Invariance under a change of scale

Is this painting part of a larger painting? If we see only half of this painting, would we be able to tell that there was a side missing? Is it upside down? These questions are difficult to address in most of Pollock's work. It is as if the part is equivalent to the whole. In physics, we call this scale invariance: sometimes, the idea of a reference size is lost and all sizes appear to be the same. If scale invariance was present in nature, that would be a disaster: there would be no difference between the small and the large, atoms would not form and life would not exist. But why would nature chose one specific scale as a reference? And why the precise scale where life can blossom? Curiously, the quantum nature of the laws of physics prevent an absolute scale invariance. It tell us that, if at some point nature looks to be insensitive to the scale, keep looking and you will find that scale invariance is broken down.

*Original text: Pedro Machado*

**Georgia O'Keeffe**  
**“Desde las llanuras”**  
**1954**



La física de partículas se basa en los sencillos y económicos principios que subyacen a la gran complejidad de los fenómenos naturales. Esta pintura de O'Keeffe de una puesta de sol sobre las grandes llanuras, pintada en colores primarios directamente del tubo, y reducida a los elementos más importantes, me recuerda a la visión de un pintor del reduccionismo de la física de partículas.

Particle physics is based on the simple and economical principles underlying the great complexity of natural phenomena. This O'Keeffe painting of a sunset over the great plains, rendered in primary colors straight from the tube, and reduced to the most important elements, reminds me of a painter's version of particle physics reductionism.

*Texto traducido*

*Original text: Ann Nelson*

*Ann Nelson es una física norteamericana y profesora de la Universidad de Washington, Estados Unidos*

**Berthe Morisot**  
**“El espejo psíqué”**  
**1954**



**El espejo y la rotura de la simetría de paridad**

El espejo en el retrato se puede utilizar para expresar una transformación física llamada paridad. Esto transforma en un fenómeno en su imagen especular. En la vida común día el "mundo espejo" se confunde con el mundo real. En la física de partículas se ha encontrado que esta simetría no se respeta en las interacciones débiles (i.e. desintegración beta): el mundo transformado bajo paridad, el del espejo, no sería idéntico al mundo real.

*Texto traducido*

*Ninetta Saviano es una joven física italiana de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Durham, Reino Unido.*

**The mirror and parity symmetry violation**

The mirror in the portrait can be used to express a physical transformation called parity. This transforms a phenomenon in its mirror image. In common day life the "mirror world" is indistinguishable from the real world. In the particle physics it has been found that the parity symmetry is violated by the weak-interactions (i.e. beta decays): The parity-transformed world would not be identical with the real world.

*Original text: Ninetta Saviano*

**Max Ernst**  
**“Treinta y tres muchachas salen a cazar la mariposa blanca”**  
**1958**



A primera vista, esta pintura es difícil de descifrar: hay muchos colores y formas dispersas sobre el lienzo. Sin embargo, al igual que en la ciencia, se crea una imagen más clara conforme empiezas a entender más acerca de los componentes y de sus conexiones.

At first glance, the painting is difficult to decipher: there are many colors and many shapes scattered throughout the canvas. Much like science, though, a clearer image begins to form as you start to understand more about the building blocks and their connections.

*Texto traducido*

*Original text: Elena Aprile*

*Elena Aprile es una astrofísica italiana y líder del experimento de material oscuro XENON. Es profesora en la Universidad de Columbia (New York, USA).*



### Colisiones en el LHC

### Collisions at the LHC

Una colisión en el Gran Colisionador de Hadrones en los laboratorios del CERN no es más que una explosión microscópica de partículas y energía, representada aquí por todos los puntos blancos y el halo amarillo..Las partículas y la energía se mezclan, imitando lo que sucedió en el origen del Universo.

A collision at the Large Hadron Collider at CERN laboratory is nothing more than a microscopic explosion of particles and energy, represented here by all the white spots and the yellow halo. Particles and energy mix together, mimicking what happened at the origin of the Universe.

*Texto traducido*

*Original text: Luca Merlo*

*Luca Merlo es un joven físico italiano y trabaja en la Universidad Autónoma de Madrid (IFT UAM-CSIC).*



### Detectando invisibles

### Detecting invisibles

La mariposa blanca puede hacerse transparente y así es muy difícil verla. En la pintura de Max Ernst hacen falta al menos 33 muchachas para cazar a esa mariposa. Nosotros como físicos, estudiamos unas partículas elementales llamadas “neutrinos” (= "pequeño neutro", en italiano). Ellos son muy especiales: no tienen carga eléctrica, su masa es diminuta y apenas interactúan con la materia ordinaria. En eso, se parecen a la mariposa blanca, partículas como fantasmas tan difíciles de detectar como la mariposa es de cazar. Cuando W. Pauli predijo la existencia de los neutrinos, en 1930, dudaba de que fuera

The white butterfly is the elusive neutrino and the 33 girls are the correspondent large volume detector which is required to observe the neutrinos..

Neutrinos are subatomic particles produced by the decay of radioactive elements and are elementary particles that lack an electric charge; they are affected only by the weakest of nature's forces (but for gravity), thus making their detection notoriously difficult. Indeed, only very occasionally the neutrinos interact inside a detector. Therefore large volume detectors are required in order to enhance the detection of



posible detectarlos experimentalmente. Sin embargo, el trabajo de los físicos, tanto experimentales como teóricos, permitió poder medir y conocer muchas de las propiedades de los neutrinos, algunas de ellas completamente inesperadas. No obstante, aún quedan algunas preguntas abiertas sobre estas partículas. Para contestarlas, hay que enfrentar el problema de que sólo raramente un neutrino interactúa con la materia dentro de un detector (un experimento pensado para “ver” a los neutrinos) así haciendo su detección notoriamente difícil. Para eso se construyen detectores enormes con tecnologías de vanguardia instalados en lugares tan singulares como bajo el polo sur o en el fondo del mar o en laboratorios subterráneos bajo montañas. En fin, para estudiar a los neutrinos hace falta el mismo (o más!) esfuerzo (experimental) que 33 chicas a caza de una pequeña mariposa invisible.

*Texto traducido por la autora*

*Valentina de Romeri es una joven física italiana de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad Blaise-Pascal (Clermont-Ferrand, Francia).*

these invisible particles. The same, to catch the butterflies 33 girls are needed. So, the girls are having fun with their butterfly nets as well as physicists have fun with their detectors to observe neutrinos.

*Original text: Valentina de Romeri*

**Mark Rothko**  
**“Sin título (verde sobre morado)”**  
**1961**



La mayor parte de las veces la ciencia no avanza a la manera de Arquímedes con su “¡eureka!”. La investigación científica es una larga lucha contra lo desconocido, donde los avances son el resultado de un trabajo exhaustivo. Esto no quiere decir que la creatividad esté ausente del proceso; de hecho, es un concepto esencial. Sin embargo, toda nueva idea debe venir acompañada de un análisis cuidadoso de sus motivaciones y consecuencias, y este análisis lleva tiempo y esfuerzo. El proceso, además, es cíclico: cada vez que un problema se resuelve aprendemos más sobre la naturaleza, pero el nuevo conocimiento trae consigo nuevas preguntas. Cada vez que completamos una capa del rompecabezas de la naturaleza descubrimos una nueva debajo, de modo que cada vez que aprendemos algo nuevo, alcanzamos un conocimiento más profundo de nuestro Universo.

*Texto traducido*

*Michele Lucente es un joven físico italiano de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Paris-Sud, (Orsay, Francia).*

The way in which science advances is in its most part very far from the Archimedean's "eureka" exclamation. Scientific research is a long struggle against the unknown, where advances are the result of a patient work. This does not mean that creativity is absent in the process, it is in fact central, but any new idea must be accompanied by a careful analysis of its motivations and consequences, analysis that needs time and effort to be performed. The process is cyclic: each time a problem is solved we learn more about nature, but knowing more brings new questions to which we had not thought of before. Each time we unveil a layer from the nature puzzle we perceive a new one below the older, but each time we learn something more, going deeper into comprehension of our universe.

*Original text: Michele Lucente*

**Charles Ephraim**  
**“Orión en invierno”**  
**1962**



El pintor, que estaba bien versado en astronomía, representa un paisaje nocturno de invierno. La constelación de Orión (el Cazador) y las Pléyades, bien conocidas por todos los amantes de la astronomía y del cielo nocturno, se ven claramente. La representación de Orion me llama la atención porque el artista ha representado de forma bastante realista el diferente brillo, incluso color, de las estrellas individuales, así como todas las características de la constelación, como el "cinturón", etc. Betelgeuse (en la parte superior) y Rigel (en la parte inferior, justo por encima del horizonte) son las estrellas más brillantes de la constelación. Betelgeuse tiene un color rojizo en la pintura y en realidad es una estrella roja. Las Pléyades (también conocidas como las Siete Hermanas) también están representados cerca de la esquina superior derecha. A diferencia de Orión, están físicamente relacionadas y son miembros de un cúmulo abierto de estrellas; probablemente el más famoso cúmulo de estrellas en el cielo. Contiene más de 3.000 estrellas. Nacieron simultáneamente de alguna nube de gas hace unos 100 millones de años. Las que vemos en el cielo de la noche son los más brillantes.

*Texto traducido*

*Montserrat Villar Martín es una astrofísica española, y trabaja en el CSIC.*

The painter, who was well versed in Astronomy, represents a winter night landscape. The Orion (the Hunter) constellation and the Pleiades, very well known to all Astronomy and night sky lovers, are clearly seen.

The depiction of Orion strikes my attention because the artist has represented rather realistically the different brightness, even colour, of the individual stars, as well as all the features of the constellation, such as the "belt", etc. Betelgeuse (at the top) and Rigel (at the bottom, just above the horizon) are the brightest stars in the constellation. Betelgeuse has a reddish colour in the painting and it is actually a red star.

The Pleiades (also known as the Seven Sisters) are also represented near the top right corner. Unlike Orion, they are physically related and are members of an open star cluster; probably the most famous star cluster on the sky. This contains more than 3000 stars. They were born simultaneously from the some cloud of gas about 100 million years ago. The ones we see on the night sky are the brightest.

*Original text: Montserrat Villar Martín*

**Richard Estes**  
**“Cabinas telefónicas”**  
**1967**



Esta pintura quizá se asemeje a nuestra visión del universo de acuerdo con las teorías modernas. ¿Cómo es “realmente” el mundo? ¿A caso es la imagen tridimensional ordinaria, el escenario dentro y fuera de las cabinas? ¿O está todo codificado en las reflexiones de sus puertas bidimensionales? Ambas representaciones son equivalentes, aunque la segunda es más difícil de reconstruir.

*Texto traducido*

*Jose Ignacio Illana es un físico español y profesor de la Universidad de Granada, España.*



En este cuadro hay cuatro cabinas. Tres tienen marcado “TELEFONO” mientras que una lleva el rótulo “GUIAS DE TELEFONO”. Todas las cabinas están ocupadas. Sin embargo, las dos primeras son transparentes a diferencia de las otras dos. Todas las cabinas están hechas de materiales reflejantes y se pueden ver muchas cosas de la ciudad donde están situadas. La telecomunicación ha sido un gran instrumento para unir a la gente y diseminar conocimiento masivamente. Constituyen un avance tecnológico sin el cual mucha de la ciencia reciente no hubiera sido posible. Como muestra el cuadro, las telecomunicaciones se han convertido en espejos de la sociedad pero al mismo tiempo han tenido también una influencia psicológica. Podemos ver que ninguna de las cuatro personas parece estar saliendo de o entrando en las cabinas sino que todos están enfrascados en lo que están haciendo. En cierto modo, también ha resultado en aislamiento.

*Texto traducido*

*Abhass Kumar es un joven físico indio que trabaja en HRI (Harish Chandra Research Institute), India.*

This painting may resemble our view of the universe according to modern theories. What is the “actual” world like? Is it perhaps the ordinary 3-dimensional picture, the scenario in and outside the booths? Or it is all encoded in the reflections on their 2-dimensional doors? Both representations are equivalent, although the second one is harder to reconstruct.

*Original text: Jose Ignacio Illana*



In this painting, there are four booths. Three of them are labelled “TELEPHONE” while one is labelled “DIRECTORIES”. All the booths are populated. However, the first two are transparent while the last two are clear. All the booths are made of reflective materials and one can see many things about the city where they are located. Telecommunication has been a great tool for bringing people together and disseminating knowledge among the general masses. They are a technological achievement without which much of recent science would not have been possible. As shown in the painting, telecommunications have become mirrors of society but at the same time, they have had a psychological effect as well. We can see that none of the four people seems to be coming out or going into the booths but are all engrossed in what they are doing. To some extent, it has caused isolation as well.

*Original text: Abhass Kumar*

**Francis Bacon**  
**"Retrato de George Dyer en un espejo"**  
**1968**



En este cuadro Francis Bacon muestra a su amante, George Dyer, mirando a un espejo. Su distorsionada cara se refleja en el espejo, de modo que el rostro original y el del espejo no coinciden. Nuestra experiencia diaria, no obstante, nos dice que el reflejo no cambia la imagen original, tan sólo intercambia izquierda y derecha. Sin embargo, en el mundo de las partículas elementales esto no es siempre así. En 1957 un grupo de físicos americanos descubrió lo que se conoce como "violación de la paridad" en desintegraciones de núcleos radiactivos. Este descubrimiento mostró que los procesos gobernados por una de las cuatro fuerzas fundamentales, la interacción débil, están prohibidas en su versión reflejada en un espejo.

En particular, una partícula como el neutrino siempre tiene su momento angular intrínseco (espín) orientado en la dirección opuesta a su velocidad, y se llama levógira. La versión en el espejo de esta partícula sería un neutrino dextrógiro, con el espín y la velocidad orientadas en la misma dirección. Sin embargo, a día de hoy no se ha realizado ningún experimento en el que se hayan observado una partícula como esa: los neutrinos siempre son levógiros, no dextrógiros. Comprendemos la diferencia desde un punto de vista matemático, pero no lo entendemos totalmente desde el punto de vista de la teoría. La búsqueda de neutrinos dextrógiros es una de las direcciones más prometedoras en la investigación en física moderna.

*Texto traducido*

*Kirill Kanshin es un joven físico ruso de la red europea Invisibles, que trabaja en la Universidad de Padova (Italia).*

In this painting Francis Bacon shows his lover, George Dyer, facing the mirror. Distorted face of him reflects in the mirror, in such a way that original and reflected shapes do not coincide. We all know from our life experience that reflection does not change the picture but only flips left and right. Nevertheless in the world of elementary particles this statement is not always true. In 1957 a group of american physicists discovered so called "parity violation" in decays of a radioactive nuclei. This discovery has shown that processes governed by one of four fundamental interactions, namely weak interaction which can happen in our world, are forbidden in mirrored version of it. In particular, such particle as neutrino always has its intrinsic angular momentum (spin) pointed in the direction opposite its velocity and called left-handed. In the mirror this particle would appear as right-handed neutrino with spin and velocity pointing the same direction. But in all experiments conducted up to now we have seen only left-handed neutrinos and never a right-handed one. This difference is perfectly described by our mathematical tools, but not completely understood yet from theoretical perspective. The searches for right-handed neutrinos is one of most promising directions of research in modern physics.

*Original text: Kirill Kanshin*