

Quantum.

The revolution in one leap

an innovative exhibition about Quantum Mechanics



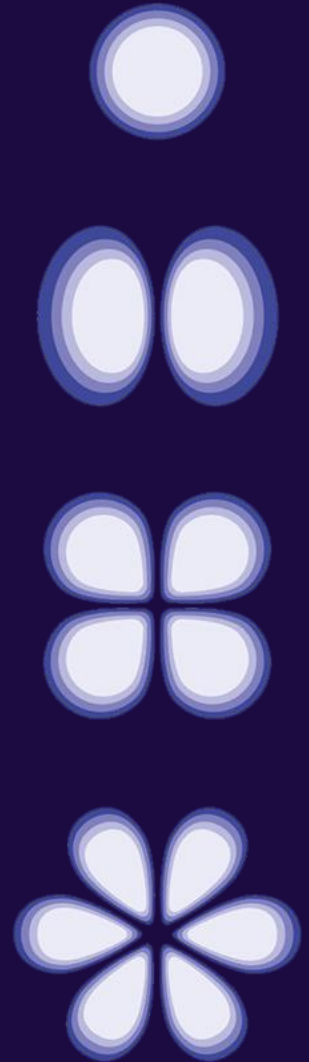
Francesca Scianitti and Cecilia Collà Ruvolo

INFN Communications Office

Francesca.scianitti@presid.infn.it

“

It is easier to break
an atom than a prejudice



What about?

Crisis in science

Scientific processes and debates

New visions

New perspectives of knowledge





An exhibition for whom?

general non-expert public,
but interested in science

middle and high schools

Storytelling in 5 steps



Macrocosms

Microcosms

Quanta

Paradoxes

Cosmos

NEL MONDO DEI CORPI E DELLA LUCE

IN THE WORLD OF BODIES AND LIGHT

TRA SCIENZA E VECCHIE CREDENZE

Per millenni l'essere umano ha creduto che gli oggetti pesanti cadessero a terra prima di quelli leggeri, perché l'esperienza quotidiana sembrava dire questo. Solo da Galileo in poi, con il ragionamento e con gli esperimenti, è stato possibile capire che in assenza di aria oggetti di massa diversa arrivano a terra nello stesso momento.

Con Galileo, la verifica sperimentale e il riscontro oggettivo sostituiscono i dogmi, il senso comune e l'intuizione pura. È così che alla fine dell'800 la fisica classica rappresenta la descrizione perfetta di un universo fatto di corpi e di luce, governato da insiemi di leggi causa-effetto. La meccanica classica di Galileo e Newton, che descrive i corpi in relazione alle forze, e l'elettromagnetismo di Maxwell, che disegna la luce come un intreccio di campi elettrici e magnetici oscillanti, sono il linguaggio di una realtà certa e prevedibile, tanto da permetterci di progettare, oggi, infrastrutture grandi come metropoli e missioni spaziali a milioni di chilometri da noi.

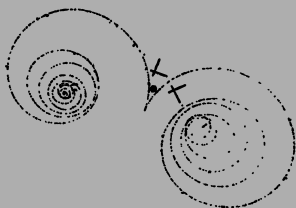
Con l'ingresso nel nuovo secolo, l'esplorazione del mondo microscopico apre una profonda crisi in questo ordine apparentemente incommutabile, svelando una realtà imprevedibile e ancora oggi del tutto controintuitiva.

SCIENCE AND OLD BELIEFS

For millennia, human beings believed that heavy objects fell to the ground much faster than lighter ones because that was what their everyday experience led them to believe. It was only from Galileo's time onwards that with reasoning and experiments we came to understand that in the absence of air, objects of different mass hit the ground at the same time.

With Galileo, experimental testing and objective observation replaced common dogma and the purely intuitive approach. At the end of the 19th century, classical physics represented the perfect description of a universe made up of bodies and light and governed by laws of cause and effect. Galileo and Newton's classical mechanics, which describes bodies in relation to forces, and Maxwell's electromagnetism, which identifies light as a web of oscillating electric and magnetic fields, are the language of a reality that is certain and predictable. Today we design infrastructure the size of a metropolis and space missions millions of kilometres away because of that language.

But, at the turn of the new century, exploration of the microscopic world stirred up a crisis and rocked the seemingly unshakable order, revealing that reality is unpredictable and, still to this day, counterintuitive.



“
CIÒ CHE NOI PERCEPIAMO
COME SPAZIO VUOTO È UN
MEZZO POTENTE LA CUI
ATTIVITÀ MODELLA IL MONDO

WHAT WE PERCEIVE AS
EMPTY SPACE IS A POWERFUL
MEDIUM WHOSE ACTIVITY
SHAPES THE WORLD

”

FRANK WILCZEK

L'UNIVERSO IN UN QUANTO

THE UNIVERSE IN ONE QUANTUM

DAL VUOTO, LE GALASSIE

Il ruolo della meccanica quantistica nel cosmo riguarda innanzitutto l'origine, il Big Bang, quando le dimensioni dell'universo erano di gran lunga inferiori a quelle di un atomo e di atomo ancora non si parlava, ma solo di energia e di quanti.

Protagonista di quell'atomo indecifrabile è il vuoto quantistico, un'idea che si deve a Dirac, secondo la quale il vuoto produrrebbe di continuo particelle e antiparticelle che si distruggono vicendevolmente trasformandosi in energia. Una fluttuazione in questo brulicare avrebbe fatto espandere lo spazio a una velocità impressionante, distribuendo l'energia del vuoto su un volume confrontabile con quello dell'universo di oggi.

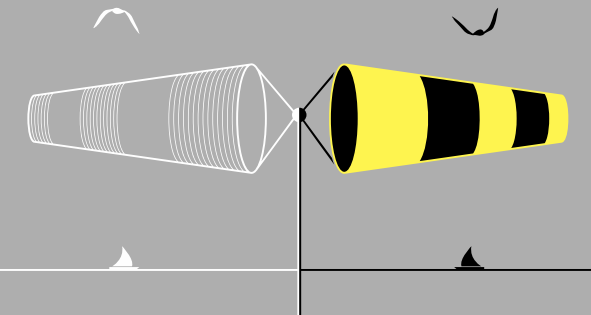
Ma la meccanica quantistica non ha smesso di avere effetti macroscopici con la nascita dell'universo ed è a tutt'oggi il motore primario di fenomeni da cui dipende la nostra stessa esistenza. Il calore del Sole non sarebbe una realtà se la meccanica quantistica non consentisse fenomeni che per la fisica classica sono impossibili. Se è vero che i nuclei di idrogeno, il combustibile delle stelle, si respingono per via della loro carica positiva, la loro natura quantistica prevede che una minima parte superi la reciproca repulsione, fondendosi a coppie in un unico nucleo e liberando energia. La meccanica quantistica dà ai nuclei questa possibilità con una piccola percentuale di probabilità, sufficiente però ad accendere e mantenere la combustione: è il fenomeno della fusione termonucleare, reso possibile dall'effetto tunnel quantistico.

FROM EMPTY SPACE TO GALAXIES

Quantum mechanics' role in the cosmos is most pertinent to the origin, the Big Bang, when the size of the universe was far smaller than an atom and everything was just energy and quanta.

According to Dirac, the quantum vacuum was central to that indecipherable moment, a state of particles and anti-particles mutually destroying one another and converting into energy. He argued that the fluctuations in this hive of activity was what caused space to expand at an impressive rate, distributing the energy of the vacuum over a volume comparable to that of our universe today.

However, quantum mechanics did not stop having macroscopic effects when the universe began. Today, it is still the main engine driving the phenomena responsible for our very existence. The Sun's heat would not be a reality if quantum mechanics did not allow phenomena that are impossible in classical physics. Hydrogen nuclei, which are the fuel of stars, repel each other due to their positive charge, yet because of their quantum nature, a small part overcomes the mutual repulsion, fusing in pairs into a single nucleus and releasing energy. Quantum mechanics gives nuclei a very small probability of this happening yet sufficient enough to ignite and maintain combustion. This is the phenomenon of thermonuclear fusion, made possible by quantum tunnelling.



LA DOPPIA VITA DEL QUANTO

THE DOUBLE LIFE OF THE QUANTUM

A VOLTE ONDA, A VOLTE PARTICELLA

Come può qualcosa essere simultaneamente un'onda, cioè un oggetto esteso nello spazio, e una particella, ovvero un oggetto che occupa un punto preciso? E come può il fotone, una particella, comportarsi anche da onda? Che la luce fosse un'onda era stato dimostrato nel 1801 con l'esperimento della doppia fenditura di Young: la luce attraversa due fessure in uno schermo come farebbe l'acqua del mare oltrepassando due aperture in una barriera frangiflutti, interferendo al di là di questa.

Al contrario, le particelle, se immaginate come corpi puntiformi, possono al più passare da una delle due aperture e poi scontrarsi, rimbazzare. Eppure, inviando contro le fenditure di Young una sola particella di luce per volta, un fotone dopo l'altro, accade qualcosa di sorprendente: il fotone oltrepassa le aperture come un'onda che si divide tra le due. Da quale sia passato è l'interrogativo naturale che non può avere risposta: il quanto, a volte onda a volte particella, non è di fatto nessuna delle due cose, è una nuova entità.

In modo ancora più sorprendente, l'esperimento può essere ripetuto con particelle di materia: riuscite a immaginare un elettrone che attraverso due aperture come un'onda che si divide tra le due?

A WAVE AT TIMES, A PARTICLE AT OTHERS

How can something be both a wave, in other words, an object extending in space, and a particle, an object that occupies a specific position? And how can the photon – a particle – behave like a wave? The fact that light was a wave was demonstrated in 1801 with Young's double slit experiment: light passes through two slits in a screen just like the water of the sea would when it travels through the openings of a breakwater barrier, exhibiting interference beyond the barrier.

If, conversely, particles are treated as point-like bodies, they can at most travel through one of the two openings and then hit and bounce off each other. Yet, something baffling happens when only one particle of light at a time – one photon after another – is fired toward the slits: the photon travels through the openings in a wavelike manner, spitting into two. It is natural to ask: Through which slit did it travel? But the question has no answer. A quantum is both a wave and a particle, and neither one nor the other: it is a new entity.

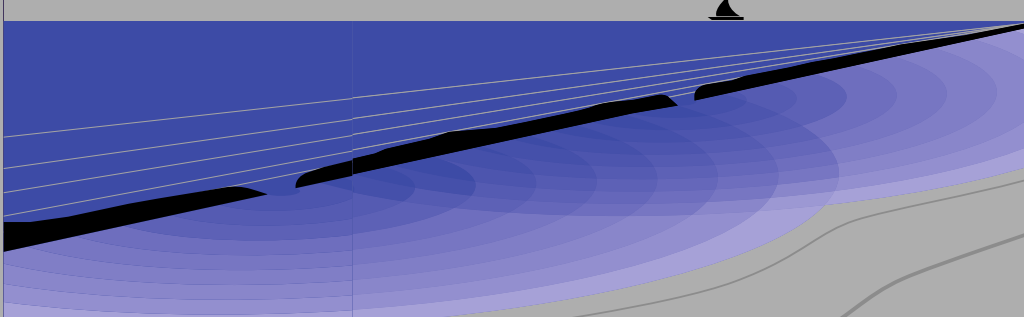
Even more astounding, the experiment can be replicated with particles of matter! Can you imagine an electron that splits like a wave to travel through the two openings?

“
UN FENOMENO CHE STA AL
CUORE DELLA MECCANICA
QUANTISTICA. IN REALTÀ NE
CONTIENE L'UNICO MISTERO.

THE PHENOMENON HAS IN IT
THE HEART OF QUANTUM
MECHANICS. IN REALITY, IT
CONTAINS THE ONLY
MYSTERY.

”

RICHARD FEYNMAN



SMETTILA DI DIRE
ALLA DIVINA PROVVIDENZA
CHE COSA DEVE FARE!

STOP TELLING GOD
WHAT TO DO!



DIO NON GIOCA A DADI!

GOD DOES NOT PLAY DICE!

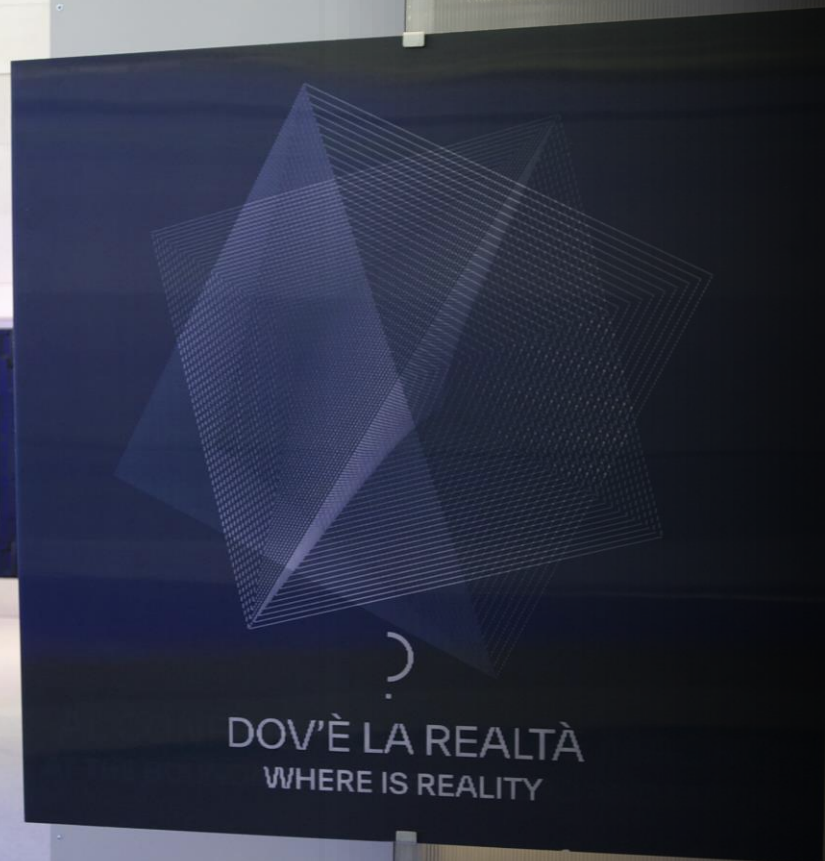
5° CONGRESSO
SOLVAY

1927



5TH SOLVAY
CONFERENCE

1927



Visitor counter
Questionnaire
Preliminary advisory
board with teachers
Feedback during the
activities

Guided Tours
Collateral events



Public's response

- **100,000 visitors in 6 months**
- 5,000 visitors guided tours
- 5,700 students attended guided tours

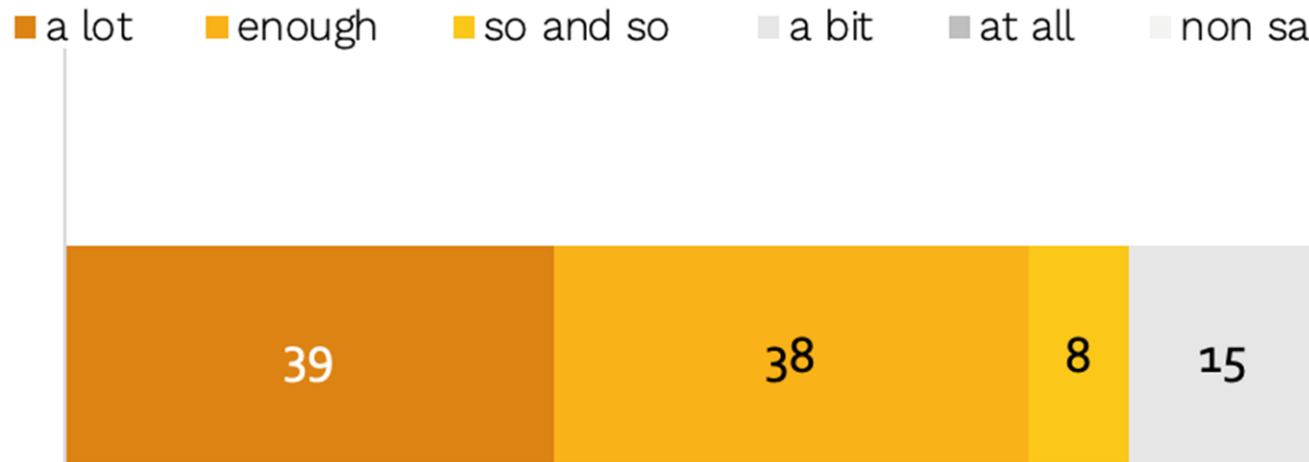


Francesca Scianitti - INFN - ICHEP 2024



Schools and teachers

In your opinion, can the exhibition enrich the students' interest in scientific research?



Values %

85% of teachers

the exhibition can contribute to the teaching and to non-scientific cultural discussion in class

Schools and teachers

More than 85% of teachers positive about the educational approach.

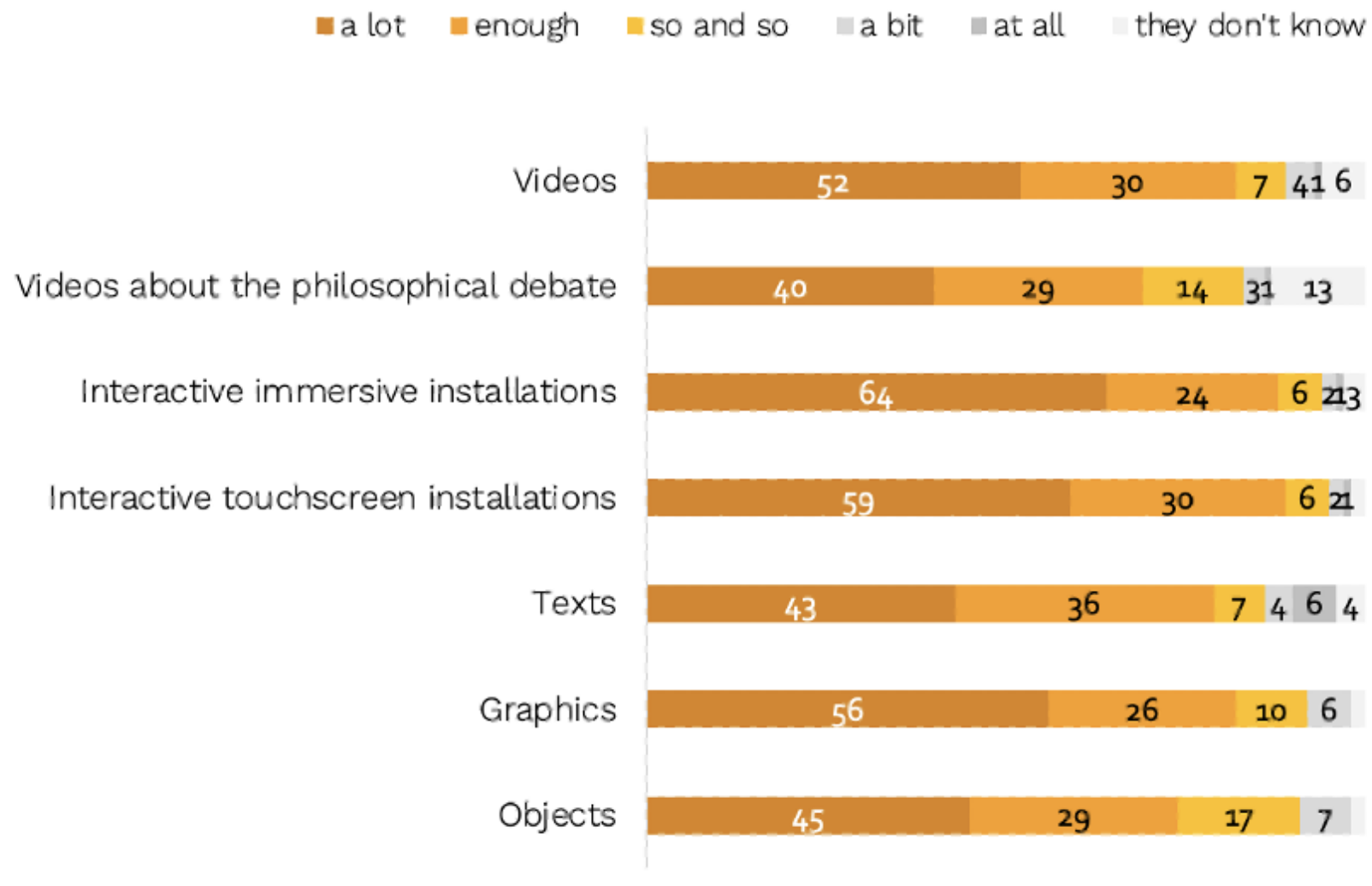
Guided tours and lab activities coherent with school curriculum

Interactive multimedia installations

- dynamic visit
- light approach to deepen concepts
- immersive environment



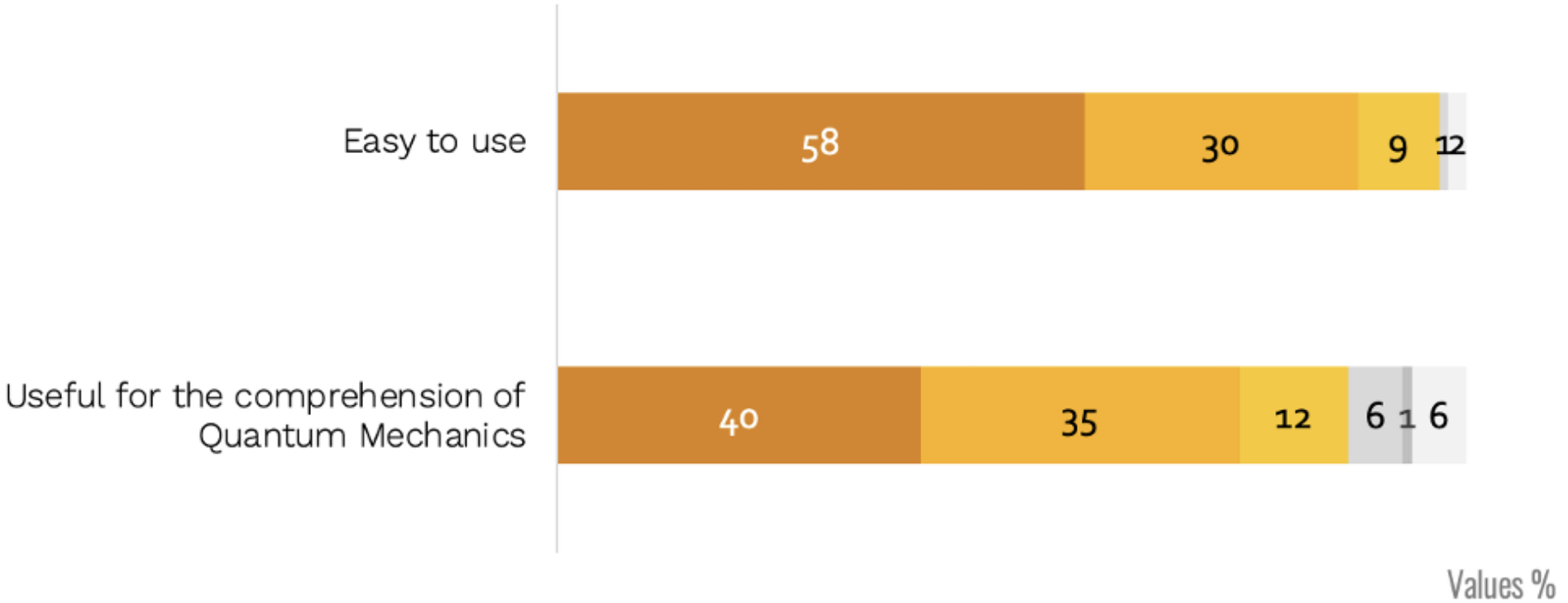
How much did you appreciate the elements of the exhibition?



Values %

In your opinion, how much the interactive multimedia installations are ..

■ a lot ■ enough ■ so and so ■ a bit ■ no ■ they don't know



We are planning to move our
exhibition in other locations

Attrazione gravitazionale irresistibile ■
Irresistible gravitational pull

Thank you

3 km	3 km
RAGGIO ORIZZONTE DEGLI EVENTI	EVENT HORIZON RADIUS
1 massa solare	1 solar mass
MASSA DEL BUCO NERO	BLACK HOLE MASS
da 0,01 - a 0,1 masse solari	0.01-0.1 solar masses
MASSA DELLE NEBULOSE RISUCCHIATE	STUCKED NEBULAE MASS