

AC 14 19

Acaban ustedes de escuchar Historia, los problemas religiosos en la edad moderna, por el profesor don Antonio Dominguez Ortiz. Seguidamente les ofrecemos introducción al curso universitario de Ciencias Físico-Naturales, tema decimoquinto, por el profesor don José Luis Lorente Huarch. Con la voz del mismo profesor.

Control y registro de sonido, José Soria. Y la adaptación radiofónica del tercer programa de Radio Nacional de España. ¿Cuáles son, profesor, los objetivos que pretende cubrir el estudio de la física cuántica y qué relación tiene el contenido de este tema con el de otros anteriores? Bajo la denominación de física cuántica, agrupamos tres temas del curso con una unidad de contenido y de tratamiento, el estudio de los microsistemas.

Entendiendo como tales aquellos en los que las diversas magnitudes físicas toman valores tan reducidos que resulta de aplicación el principio de incertidumbre de Heisenberg. Concretamente se consideran los tres últimos temas del curso, átomos, moléculas y el núcleo atómico. Esta última parte de la tercera unidad didáctica se entronca con la primera para constituir en su conjunto una introducción al estudio de la estructura de la materia.

La mecánica clásica newtoniana que permitía una primera descripción de gases líquidos y sólidos con tratamientos, eso sí, eminentemente estadísticos, fracasa ahora al pretender avanzar hasta los últimos reductos de la naturaleza, los microsistemas. Átomos, moléculas o partículas elementales tales como protones, neutrones, electrones, etc. escapan al tratamiento clásico y su estudio provocó a comienzos de este siglo el advenimiento de nuevas teorías físicas con objeto de explicar la discrepancia observada en ciertos experimentos entre los resultados y las predicciones de los mismos basadas en la mecánica de Newton.

Todo ello ocasionó una profunda crisis, la más profunda desde Galileo, en el campo científico y la irrupción de la mecánica cuántica de Planck, Bohr, Schrödinger, Heisenberg, etc. Si viéndonos es posible penetrar a este nivel en el formalismo matemático de la nueva mecánica, sí quedamos los principios fundamentales en que se apoya, de modo que un alumno que asimile las mencionadas lecciones se hallará en situación adecuada para profundizar en estas materias y perfeccionar sus conocimientos. ¿Qué fundamenta este distinto tratamiento, un tanto discriminatorio, de los sistemas muy pequeños que usted denomina microsistemas con relación a los objetos macroscópicos que nos rodean? ¿Por qué debemos utilizar una física para describir un avión, por ejemplo, y otra distinta para estudiar un átomo? No se trata de dos físicas distintas, sino de dos estadios de conocimiento diferentes.

El hombre tiene una capacidad cognoscitiva limitada, por lo que es lógico que en las ciencias experimentales tropiece con serias dificultades en las fronteras de lo muy grande o de lo muy pequeño. De este modo, la discusión acerca de la finitud o infinitud del universo es puramente dialéctica, por ser su conocimiento inalcanzable para la mente humana. En el otro extremo, en el terreno de lo microscópico, los objetos medidos, ya sean átomos, núcleos o electrones, son

de dimensiones comparables a los elementos medidores.

Así, por ejemplo, mediante el llamado efecto Compton, podemos determinar la posición de un electrón por colisión con un haz de fotones, actuando de este modo el fotón de elemento medidor o sonda. Pero resulta que el fotón es, al igual que el electrón, una partícula elemental, si bien de masa en reposo nula, con valores de sus magnitudes relevantes, momento lineal, energía, momento angular, etc., similares a los de la partícula que va a ser medida. El resultado de la medida efectuada tiene una perturbación en el sistema a medir, de forma que se produce una alteración profunda del estado de este sistema medido por parte del instrumento medidor.

La información susceptible de ser obtenida en posteriores mediciones resulta así distorsionada, de modo que la velocidad que podría determinarse a través de dos mediciones sucesivas de la posición resulta ya distorsionada. Pero, atención, no queremos indicar que en la medición de observables en macrosistemas, como podría ser la del centro de masa del avión que usted indicaba, no aparezcan los efectos perturbadores de cierta interacción entre el instrumento y el objeto o sistema medido. Lo que sucede es que esta interacción puede reducirse a valores despreciables en relación a los órdenes de magnitud en que ahora nos movemos.

En efecto, el mencionado principio de Heisenberg establece que el producto de incertidumbres en el conocimiento simultáneo de dos magnitudes canónicas conjugadas, como pueden ser la posición y la velocidad en cualquier sistema, es del orden de la constante de acción de Planck, h , cuyo valor sólo resulta relevante en los campos de la física atómica o nuclear, siendo por consiguiente la resolución teórica muy buena en los macrosistemas objeto de la física clásica o newtoniana. ¿De dónde procede el calificativo de cuántica otorgado a esta nueva mecánica? La mecánica, o en general la física cuántica, debe en su nombre a la famosa teoría de los cuantos formulada por Max Planck para explicar la radiación electromagnética de los cuerpos y que apareció con el último cambio de siglo. Tal teoría predice que los intercambios energéticos entre cuerpos por medio de ondas electromagnéticas se hayan cuantificados, existiendo en cada caso una cantidad mínima de energía transferible o cuanto.

De modo que pueden cederse uno, dos, tres o un trillón de cuantos, pero nunca una fracción de cuanto, la mitad, la tercera parte de un cuanto. Afirmación obviamente revolucionaria en su tiempo, cuando se admitía la continua fragmentación de la materia y de las magnitudes físicas, siendo el cero teóricamente alcanzable en un hipotético paso al límite. Un claro ejemplo de aplicación del principio de Planck sobre la cuantificación se halla en el modelo atómico de Bohr que introducimos en el apartado 16.3 y en el que sólo cierto número de órbitas electrónicas son posibles, frente al infinito número predecible en conformidad con la ley de Coulomb de la interacción electrostática entre el núcleo atómico y cada uno de sus electrones corticales con carga de signo opuesto.

Más aún, la teoría electromagnética clásica impediría toda estabilidad atómica, ya que los electrones al hallarse en movimiento aproximadamente circular, poseerán determinada aceleración centrípeta, lo cual entrañaría, según las ecuaciones del electromagnetismo de

Maxwell, la emisión de energía radiante, con pérdida paulatina de energía y consiguiente reducción del radio orbital. Por otra parte, se comprobó que las radiaciones emitidas por gases incandescentes constituían conjuntos discretos de longitudes de onda determinadas, las llamadas líneas espectrales de la óptica. Así, el sodio presenta ciertas líneas perfectamente definidas y distintas, por ejemplo, de las del mercurio, cuando según la física clásica cabría esperar la misma banda luminosa continua para ambos elementos, al poder generar en principio cualquier longitud de onda o frecuencia radiante.

Por lo que nos dice, parece que el mundo del microcosmos presenta muchas más limitaciones que los cuerpos o sistemas propios de nuestra experiencia cotidiana. ¿Es ello cierto? Y caso de serlo, ¿por qué la naturaleza adopta estos criterios restrictivos al entrar en el terreno de la física atómica? Efectivamente, las alternativas son aquí menores, y lo que es más trascendente, siempre las mismas. Un átomo de hidrógeno presenta los mismos niveles energéticos en Madrid que en Buenos Aires.

Esto es lo que llamamos en el texto definibilidad cuántica, cualidad importantísima sin la que sería imposible un estudio sistemático de la estructura de la materia. Existen 103 elementos distintos, oxígeno, hidrógeno, carbono, etc., de los que más de la mitad son poco frecuentes e incluso inestables, es decir, de vida efímera y creada artificialmente en la mayoría de los casos en nuestros laboratorios. Pues bien, todos ellos están constituidos por las mismas partículas elementales, protones, neutrones y electrones, y la estructura de cualquiera de ellos es siempre la misma, la energéticamente más favorable para aquella composición.

Las moléculas constituidas a su vez por la unión de átomos, iguales o distintos, presentarán una mayor riqueza de alternativas de manifestación, en conformidad con el número de combinaciones posibles de las correspondientes a sus átomos. Un cristal perfecto ofrecerá naturalmente muchísimas más alternativas, dada la elevada cantidad de componentes microscópicos o cuánticos integrantes. Y un sólido amorfo, prácticamente infinitas alternativas, al perderse todo orden estructural a escala macroscópica.

Así, una disolución de alcohol y benceno presentará una infinita gama de proporciones distintas, pero una muestra de alcohol será siempre la misma y poseerá unos niveles de energía específicos de la molécula de este compuesto. Es el orden, la definición, lo que hallamos en el terreno cuántico, más que la imprecisión o incertidumbre prevista por Heisenberg, y cuya importancia se ha exagerado frecuentemente, olvidando la significación del principio de Planck. Hemos hablado de los principios de Planck y de Heisenberg.

¿Son estos principios los básicos de la física atómica o existen otros no mencionados en el texto y que son fundamentales en el desarrollo de la mecánica cuántica? El principio de cuantificación de Planck y el de incertidumbre de Heisenberg constituyen los dos pilares en los que se fundamenta el edificio de la física moderna, no existiendo ningún principio equivalente o análogo a ellos en el dominio de la física clásica. Naturalmente se habla de otros principios, como el de superposición o el de correspondencia, pero no son sino conceptos y leyes

trasplantados del terreno clásico. Así, el principio de superposición de estados cuánticos no es otra cosa que el reconocimiento de que nuestra física adopta un marco lineal de representación matemática, en el que la superposición de soluciones de una ecuación diferencial, la de Schrödinger, conduce a nuevas soluciones físicamente posibles de la misma.

Mientras que el principio de correspondencia pretende aprovechar el extenso acervo de conocimientos de la física clásica dando unas simples reglas para pasar de un problema clásico a su homólogo cuántico. Lo mismo sucede con el llamado principio de complementariedad de Bohr, que justifica la dualidad de imágenes ondulatoria y corpuscular de un mismo fenómeno, pero que no es sino una consecuencia indirecta del principio de incertidumbre, que al impedirnos obtener una imagen clásica total conduce a unos aspectos bien ondulatorios o bien corpusculares de un proceso dado. Por ejemplo, en la difracción de unas electrones por un orificio estrecho, ambos aspectos pueden considerarse alternativamente.

No hemos de olvidar, y esto es esencial, que el grado de información teóricamente alcanzable acerca del sistema cuántico dado, ya sea un electrón, un átomo o una molécula, es inferior al que clásicamente podríamos alcanzar, dada la incompatibilidad existente entre ciertas magnitudes físicas que impide su precisa determinación simultánea. Por ello, las imágenes intuitivas de nuestro mundo circundante son peligrosas y altamente distorsionantes cuando pretendemos aplicarlas al campo microscópico, adaptación incorrecta dentro del contexto de la filosofía natural eminentemente positivista. Así, por ejemplo, en el caso de la trayectoria de un electrón, la curva trayectoria de la física clásica carece en el terreno cuántico de sentido al no poder determinar simultáneamente la posición y la velocidad del electrón tal como indicábamos anteriormente.

A lo largo del curso hemos considerado bien fuerzas gravitatorias en mecánica celeste, en el vuelo de proyectiles, en la elevación de una masa de líquido, etc., o bien fuerzas eléctricas en el estudio de la cohesión de los sólidos o en el de las máquinas eléctricas, pongamos por caso. En el tema 18 aparece, sin embargo, un nuevo tipo de fuerzas, las nucleares, responsables más o menos directas de importantes condicionamientos políticos, económicos y técnicos de nuestro siglo. La bomba atómica, las centrales nucleares o los generadores radioisotópicos presentes en las naves espaciales son ingenios fruto de la física nuclear.

¿Por qué deben existir en la naturaleza fuerzas como las nucleares? ¿Y por qué tardaron tanto los físicos en descubrirlas mientras que las gravitatorias y las eléctricas eran ya conocidas en los tiempos antiguos? En realidad me formula dos preguntas distintas. La primera referente a la necesidad de las fuerzas nucleares y la segunda relativa a lo tardío de su descubrimiento. Pues bien, con respecto a la primera, la respuesta es inmediata, puesto que sabemos que los núcleos atómicos constan de protones y neutrones.

Pero al estar los primeros cargados positivamente, una estructura que como la nuclear los contuviera sería necesariamente inestable al repelerse los protones mutuamente y tender a la disgregación del conjunto. Si esto como sabemos no sucede es porque la fuerza electrostática

repulsiva resulta contrarrestada por otra atractiva de naturaleza distinta y mucho más intensa que la primera. Las fuerzas nucleares tardaron en descubrirse porque no disponíamos del equipo experimental adecuado para observarlas, pero tampoco poseíamos el instrumental teórico necesario para describirlas, predecir su comportamiento y marcar las pautas de la investigación a seguir en este terreno.

A principios de siglo la sensibilidad de nuestros aparatos nos permitió profundizar en la estructura de la materia y llegar al núcleo atómico. Pero también la puesta a punto de la mecánica cuántica contribuyó decisivamente al desarrollo de la física nuclear por ser esta nueva mecánica la necesaria según hemos visto para el estudio de los microsistemas. También la teoría de la relatividad contribuyó decisivamente en este campo.

Así, la relación de equivalencia de Einstein entre masa y energía predijo la enorme cantidad de energía liberada en ciertas reacciones nucleares como la fisión, en la que los productos resultantes de la reacción poseen una masa inferior que la de los sistemas reaccionantes. Profesor, perdón. Con respecto a esta última observación, y aunque sea alejarnos un poco del tema, ¿qué porvenir le asegura a la energía nuclear, en particular en nuestro país? ¿Es la panacea capaz de resolver todos nuestros problemas de escasez de recursos energéticos, degradación del medio ambiente, etcétera? En nuestro país funcionan actualmente a pleno rendimiento tres centrales nucleares, Zorita, Santa María de Garoña y Vandejoz, con una potencia total instalada de cerca de 1500 megavatios eléctricos.

Y se hallan en ejecución otras seis centrales con otros 5000 megavatios adicionales de potencia. Todo ello hará que en 1985 la producción de energía eléctrica de origen nuclear supere a la de combustible fósil, entendiéndose por tal el carbón y el petróleo. Esto, desde el punto de vista estratégico, mejorará nuestra dependencia exterior de combustibles al diversificar su naturaleza y procedencia.

Además, por kilovatio hora producido, el combustible nuclear, el uranio, cuesta la mitad que el petróleo, lo cual permite almacenar unos mayores stocks del primero. Este aparente ahorro queda compensado por una mayor inversión en instalaciones en la central nuclear que en la convencional. De todos modos, la tendencia actual favorece la instalación de centrales nucleares.

Son más económicas y degradan menos el medio ambiente que las centrales de fuel o carbón. Creo que la panacea de la que usted me habla puede residir efectivamente en un uso racional de la energía nuclear a través de los reactores llamados rápidos, que aprovechan todo el combustible de uranio y no sólo la pequeña fracción existente en el mismo del isótopo 235, y aún mejor mediante la fusión controlada de núcleos de hidrógeno, el elemento más abundante en nuestro planeta. Piense usted en lo que supondría una fuente barata e inagotable de energía.

Imaginemos por un momento que nos hallamos en el siglo próximo y que disponemos de ella. El petróleo sería utilizado exclusivamente por la industria química y no como combustible,

empleo ciertamente poco racional de esta futura fuente de proteínas. Los automóviles serían todos eléctricos, la polución mínima.

Extensos desiertos serían irrigados merced al aprovechamiento de aguas subterráneas, etcétera, etcétera. Por venir muy halagüeño comparado con algunas visiones apocalípticas en uso. Bien, volvamos al contenido de los temas del curso y al extremo que quizá más preocupa a nuestros oyentes, la prueba final de la asignatura ya próxima.

Hemos considerado los temas 16 y 17 con tres apartados o preguntas cada uno y el tema 18 con dos apartados. ¿Qué va a exigirse en resumidas cuentas del alumno tras su estudio? Hemos contestado ya con anterioridad a esta pregunta. Lo fundamental es la madurez alcanzada por el alumno.

No se trata de memorizar fórmulas o definiciones ni aún de recordar el exacto contenido de cada fórmula, de cada pregunta. El curso consta de unas 60 de estas preguntas, exactamente 59. El alumno debe saber situarlas dentro del contexto del curso y hacer posible relacionarlas con otras, entendiendo su significado y algunas de las ideas fundamentales que aportan.

La ilustración del examen con ejemplos, fórmulas, gráficos o esquemas puede ser conveniente, pero no indispensable para superar la prueba. Un razonamiento adecuado del objeto y trascendencia de la pregunta puede ser suficiente. Además, no debe olvidarse el comentario de texto, prueba en la cual se someterá al alumno un fragmento de un escrito científico que deberá analizar y que, naturalmente, guardará estrecha relación con el contenido general de una de las tres unidades didácticas de nuestro curso.

Finalmente, ¿cree usted que este curso es fácil o difícil? Las herramientas matemáticas utilizadas, derivadas, integrales, estadísticas, etc., ¿no las considera excesivas para un curso introductorio? Las herramientas que menciona las encuentra un estudiante universitario en su primer día de clase. Quizá no las maneje con soltura, pero ha oído acerca de ellas. Un conocimiento supino de estas materias la impediría seguir cualquier clase universitaria.

Se trata, por otra parte, de operaciones matemáticas, algo más complejas que el algoritmo de la división o de la radicación, pongamos por caso, pero con un trasfondo y significado físico evidentes. No constituyen, por otra parte, una barrera infranqueable por el alumno en nuestro curso. Puede hallar muchas formas de franquearla si se atiene a nuestros consejos de principios de curso y deja cada cosa en su correcto sitio.

Contestando a su pregunta, le diré que el curso no lo considero fácil ni difícil, pero eso sí con estilo universitario. Su comprensión facilitará notablemente la tarea del alumno en su primer año de carrera, pues contiene la inmensa mayoría de los conceptos y leyes fundamentales que ha de encontrar en física. Solamente las aplicaciones y resultados obtenidos serán más complejos, pero habrá aprendido lo esencial de la teoría.

Otro planteamiento menos riguroso habría desvirtuado el objetivo primordial del curso, que es,

precisamente, la adaptación del estudiante al lenguaje, estilo y nivel que hallará en sus cursos universitarios, es decir, en el plazo de tres meses aproximadamente. Acaban ustedes de escuchar Introducción al curso universitario de Ciencias Físico-Naturales por el profesor don José Luis Lorente Huarch. Nos despedimos de ustedes hasta mañana miércoles a las 20 horas en que podrán escuchar Lengua Española, las formas en R por el profesor don Manuel Criado de Bal e Introducción al curso universitario de Derecho, el Jurista y la Ley por el profesor don Rafael Gibert y Sánchez de la Vega.