

«Sobre el estado de la Ley de Maxwell  $K = n^2$ ».  
Un artículo de Blas Cabrera redactado en 1903

«On the state of the Law of Maxwell  $K = n^2$ ».  
An article of Blas Cabrera written up in 1903

LEANDRO TRUJILLO CASAÑAS

Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife  
letruca@terra.es

#### RESUMEN

El análisis de un texto de Blas Cabrera Felipe de 1903 permite apreciar sus concepciones en el contexto científico de la época. Se ha visto el inicio de un posible proyecto de investigación en fisicoquímica y, asimismo, se pone de manifiesto su método de investigación teórica, basada en la consulta y análisis de datos publicados por diversos investigadores europeos utilizados para demostrar la exactitud de la ley de Maxwell  $K = n^2$  que relaciona –en el marco de la teoría electromagnética– el índice de refracción y la constante dieléctrica, en el que aporta algunos cálculos originales. Se ha realizado un detallado seguimiento –y se han completado detalles– de los artículos y autores consultados por Cabrera para la redacción del artículo que se comenta. Se plantea la situación de Cabrera en la comunidad científica de Madrid y la posible relación de ésta con la investigación europea. Se pone de manifiesto la importancia de los textos de Cabrera para intentar averiguar sus concepciones iniciales y su evolución diacrónica posterior. Se menciona el uso de la física clásica –mecánica y electromagnetismo– como marco de los trabajos científicos en la frontera de los siglos XIX y XX. Se tiene en cuenta, además, el papel dinamizador de la Sociedad Española de Física y Química para elevar el nivel de la investigación científica en el ámbito universitario y la influencia que de su espíritu de progreso pudo recibir Cabrera.

**PALABRAS CLAVE:** Blas Cabrera, Ley de Maxwell, física española, constante dieléctrica, permeabilidad magnética, índice de refracción, dispersión, magnetismo de la materia.

## ABSTRACT

The analysis of Blas Cabrera's text of 1903, allows estimating his conceptions in the scientific context of the epoch. The beginning of a possible project of investigation in physicochemistry has been seen and, likewise, there is revealed his method of theoretical research, based on the consultation and analysis of information published by diverse European researchers used to demonstrate the accuracy of Maxwell's law  $K = n^2$  that relates –in the frame of the electromagnetic theory– the index of refraction and the dielectric constant, in that he contributes with some original calculations. A detailed follow-up has been realized –and details have been completed– of the articles and authors consulted by Cabrera for the draft of the article that is commented. Cabrera's situation appears in the scientific community of Madrid and the possible relation of this one with the European investigation. There is revealed the importance of Cabrera's texts to try to verify his initial conceptions and his later evolution. There is mentioned the use of the classic physics –mechanics and electromagnetism– as frame of the scientific works in the border of the 19th and 20th century. There is born in mind, in addition, the revitalizing role of the Spanish Society of Physics and Chemistry to raise the level of the scientific research in the university area, and the influence of its spirit of progress that Cabrera could receive from.

KEY WORDS: Blas Cabrera, Anales, Maxwell's law, Madrid, Spanish physics, dielectric constant, magnetic permeability, index of refraction, dispersion, matter's magnetism.

---

## PRELIMINARES

Finalizando 1903, primer año de la existencia de los *Anales*, Cabrera presentó este trabajo de fisicoquímica –u óptica física– que es en cierto modo complementario de otro anterior sobre la teoría de la disociación electrolítica, bajo el título «Algunas consideraciones sobre la ionización de los electrólitos» (1903a), que hemos valorado en otro lugar como uno de los más interesantes de esta época y como un posible inicio –aunque incipiente– de un proyecto de investigación. Es cierto que en su dedicación de entonces se contempla una gran variedad de asuntos –instrumentos de medida, meteorología, rayos catódicos, matemáticas aplicadas a la física, etc.–, que puede dar la sensación de la inexistencia, en esta etapa inicial, de un tema de trabajo preferente que se pueda parecer a un programa de investigación, o al menos que fuese un exponente de cierta continuidad. Intuimos que esta actividad primera de Cabrera debe ser considerada como el reflejo de la autoformación y docencia en la Facultad, unido a su interés por el laboratorio y la investigación. Esto último se iría reforzando a lo largo de la primera década del siglo, al mismo tiempo que consolidaba su situación académica (1905) y ponía los cimientos de su propio núcleo familiar (1906).

Las motivaciones que le impulsan a tratar determinados temas quedan ciertamente ocultas por el velo del tiempo y la falta de declaraciones personales de Cabrera a este respecto; no obstante, en sus trabajos se revela cierta relación con su actividad en el laboratorio y en el aula. Este trabajo de análisis teórico –del que ahora nos ocupamos– acerca de la relación entre el índice de refracción y el poder inductor específico puede haber sido sugerido –directa o indirectamente– por Ignacio González Martí (1860-1931), quien había realizado un trabajo experimental coincidente en el tiempo, donde estudia el comportamiento del índice de refracción y sus relaciones con la densidad y composición de líquidos, cuya memoria fue publicada en el mismo número de *Anales* con el título «Índice de refracción de algunas disoluciones acuosas».

Abundando en lo dicho, no está demás que recordemos que la fisicoquímica había surgido como un nuevo y pujante campo de investigación en la década de 1880 y su nacimiento habría que co-

---

nectarlo con el desarrollo de la termoquímica y especialmente con las teorías de las disoluciones. La influencia de fisicoquímicos tan relevantes como Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911), Svante Arrhenius (1859-1927) y Friederich Wilhelm Ostwald (1853-1932) fue decisiva, de tal forma que podríamos decir que esta nueva disciplina lideró, en gran parte, el devenir de las ciencias físico-químicas en la frontera de los dos siglos<sup>1</sup>. El reconocimiento de estos tres químicos con el Nobel –dentro de la primera década del siglo– es un dato que se debe tener en cuenta como indicativo de los niveles alcanzados, ya que casi siempre este premio de la Academia sueca recae en los científicos y en los proyectos de investigación más vigorosos del momento. Es una época, ésta del cambio de siglo, en la que se configuraba el arranque de una nueva visión del mundo físico y en ella dio la casualidad de que Blas Cabrera estaba presente y deseaba participar de forma especial. Los detalles que se desprenden de la lectura atenta de los textos de Cabrera nos orientan hacia la idea de que su proyecto de investigación se fue forjando en el ámbito de la fisicoquímica, desde sus primeros años como profesor auxiliar de la facultad de ciencias (1901-1905). La química física va a estar presente siempre en sus investigaciones teóricas y experimentales; al principio dedicó tiempo y esfuerzo a la electroquímica, especialmente a la teoría de la disociación electrolítica, y más tarde (en 1912) eligió la magnetoquímica y el magnetismo de la materia como línea definitiva de investigación.

No obstante, su mirada –por decirlo así– no era puntual o monotemática, sus trabajos estarían formando parte de un campo más amplio dentro de la física y la química modernas, en el sentido de que su aportación creemos que se incluye en la interpretación que se estaba construyendo relacionada con la naturaleza y estructura de la materia. Por ejemplo, cuando el Laboratorio de Investigaciones Físicas comienza a funcionar en 1910 bajo su dirección, lo hace con cuatro secciones: metrología, electricidad, espectrometría y química

---

<sup>1</sup> En 1887 van't Hoff y Ostwald fundaron *Zeitschrift für Physikalische Chemie* (Revista de Química Física), como foro de la nueva rama de las ciencias, basada en la termodinámica química y en la electroquímica, que Ostwald y Arrhenius habían creado en la década de 1880.

---

física, hecho que apunta en el sentido más arriba indicado (Sánchez Ron & Roca Rosell, 1993: 144). Podemos añadir también sobre esto que Enrique Moles Ormella (1883-1953) se incorporó a la sección de química física cuando regresó a España (1910) después de su doctorado en el *Physikalisch Chemisches Institut* –Universidad de Leipzig, dirigido por Ostwald<sup>2</sup> e incorporó a la misma las técnicas y métodos utilizados en el laboratorio del laureado químico alemán, una historia sobre la que volveremos en otro momento.

Para comprender mejor este texto de Cabrera, conviene mencionar aquí que James Clerk Maxwell (1831-1879) en *A Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) confirma la unificación del electromagnetismo con la óptica:

[...] si se observa que la velocidad de propagación de las perturbaciones electromagnéticas es la misma que la velocidad de la luz, tendremos poderosas razones para pensar que la luz es un fenómeno electromagnético [...] (Maxwell, 1881: 393).

Esto lo diría Maxwell al referirse a la igualdad entre las velocidades de propagación de la luz y las ondas electromagnéticas en un medio físico –el éter– que por tanto debía ser idéntico para ambos fenómenos. Maxwell de hecho había unificado la óptica con el electromagnetismo para lo que anticipó que la velocidad de la luz se podía expresar en función de dos constantes que describen la propiedades eléctricas y magnéticas del vacío, esto es, la constante dieléctrica o poder inductivo específico y la permeabilidad magnética, según predicaba su teoría; era sin duda la confirmación de sus ideas que culminan con los célebres experimentos de Heinrich Hertz (1854-1894), en los que se producen y se detectan ondas electromagnéticas que tienen su origen en cargas eléctricas aceleradas oscilantes, presentes en la chispa disruptiva (1886-1888) (Berkson, 1985: 258-259).

La propagación de ondas electromagnéticas en un medio no conductor quedan determinadas según Maxwell por las ecuaciones siguientes<sup>3</sup>:

---

<sup>2</sup> En la actualidad *Wilhelm-Ostwald-Institut für Physikalische und Theoretische Chemie*.

<sup>3</sup> La notación vectorial se debe a Heaviside y Gibbs, propuesta con posterioridad a la muerte de Maxwell. Éste escribe siempre las ecuaciones con sus tres componentes cartesianas.

---

$$K\mu \frac{d^2 F}{dt^2} + \nabla^2 F = 0, \quad K\mu \frac{d^2 G}{dt^2} + \nabla^2 G = 0, \quad K\mu \frac{d^2 H}{dt^2} + \nabla^2 H = 0$$

Que son similares a las que corresponden a una onda que se propaga en un «medio sólido, elástico e incompresible» y donde F, G, H representan las componentes cartesianas del potencial vector –perturbación electromagnética–. Dice Maxwell que consecuentemente podemos escribir que:

$$V = \frac{1}{\sqrt{K\mu}}$$

donde V es la velocidad de propagación de la onda electromagnética, K es el poder inductivo específico y  $\mu$  la permeabilidad magnética del medio dieléctrico. Si suponemos que el medio de propagación es el aire y utilizamos el sistema de unidades electrostático, las constantes toman los valores  $K = 1$  y «...  $\mu = \frac{1}{v^2}$  es decir  $V = v$ , o la velocidad de propagación es numéricamente igual al número de unidades electrostáticas de electricidad en una unidad electromagnética» (Maxwell, 1881: 397). Si se adopta el sistema de unidades electromagnético, se tiene que  $K = \frac{1}{v^2}$  y  $\mu = 1$ , con lo que se cumple de nuevo la identidad  $V = v$ . En la teoría electromagnética V debe ser la velocidad de propagación de la luz y  $v$  es el factor de conversión entre unidades electrostáticas y electromagnéticas.

De esta forma podemos decir, siguiendo a Maxwell, que en medios diferentes al aire la velocidad V es «inversamente proporcional a la raíz cuadrada del producto de las capacidades inductivas eléctrica y magnética»; por otra parte, de acuerdo con la teoría ondulatoria, la velocidad de la luz en diferentes medios es inversamente proporcional a sus índices de refracción. Teniendo en cuenta además que la capacidad magnética de todo medio transparente difiere muy poco de la del aire, queda sólo la diferencia que establece la capacidad dieléctrica. Por tanto, de acuerdo con la teoría electromagnética, «la capacidad dieléctrica de un medio transparente sería igual al cuadrado de su índice de refracción», o lo que es lo mismo  $K = n^2$ , relación que recibe el nombre de *Ley de Maxwell*, y que ahora es el

sujeto del análisis de Cabrera, para indagar el campo de validez de la misma (Maxwell, 1881: 398).

Podemos aclarar al lector que esta relación aparece en los textos actuales de electricidad y magnetismo como definición del índice de refracción de un medio dieléctrico isótropo infinito de conductividad nula, en la forma  $n = \frac{c}{c'} = \sqrt{K}$ , donde  $K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$  es la constante dieléctrica relativa del medio. La expresión que hemos visto más arriba  $V = \frac{1}{\sqrt{K\mu}}$  debe interpretarse

como la velocidad de propagación de la onda electromagnética en un medio dieléctrico caracterizado por las dos constantes  $\frac{\mu}{\mu_0}$  y  $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ , si  $\mu \cong \mu_0$ ,  $K\epsilon_0 = \epsilon$ ,  $\epsilon_0 = 1$ ,  $K = \epsilon$ , de donde se deduce que  $n = \sqrt{K}$  y  $K = n^2$ —ley o relación de Maxwell— (Roller & Blum, 1990: 1608).

Añadamos que el propio Maxwell introducía observaciones relacionadas con la limitación de esta ley, basadas en el hecho de que «el valor del índice de refracción es diferente para cada clase de luz [color]; es mayor para la luz de más rápida vibración [de frecuencia más alta]». Era una advertencia sin duda —entendemos nosotros— sobre el hecho incuestionable de que el índice de refracción depende de la longitud de onda, lo que obligaría a considerar en cada caso las longitudes de onda más largas y, por extrapolación de longitud infinita, para que el índice de refracción correspondiente pueda ser comparado a la raíz cuadrada de la constante dieléctrica que se mide en condiciones estáticas; o como nos dice Maxwell: «porque esas son las únicas ondas cuyo movimiento puede ser comparado con los procesos lentos con los que determinamos la capacidad [inductiva específica] del dieléctrico» (Maxwell, 1881: 398). Maxwell, en este caso, no oculta que los datos procedentes de diversos experimentos realizados para comprobar la ley  $K = n^2$  daban resultados no concordantes con la misma. Menciona las medidas realizadas para la parafina fundida por Gibson y Barclay en 1871, mediante las que obtuvieron para la constante dieléctrica de este medio el valor  $K = 1,975$ ; además John Hall Gladstone (1827-1902) había encon-

trado para la parafina fundida los siguientes valores de su índice de refracción correspondiente a las líneas A, D y H, con una temperatura de 54° C.

Temperature	A	D	H
54°C	1.4306	1.4357	1.4499
57°C	1.4294	1.4343	1.4493

1. Gladstone, índice de refracción de la parafina fundida. Maxwell (1881: 2, 398).

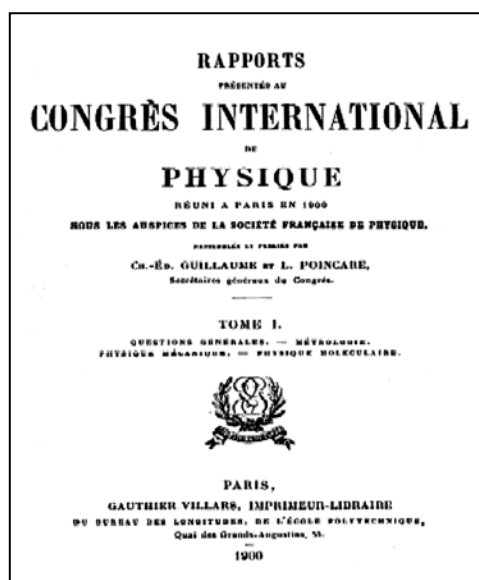
A partir de estos datos, había calculado el índice de refracción para longitudes de onda infinita  $n_{\infty} = 1,422$ , valor que no coincide con  $K = 1,405$  que se obtiene de los datos de Gibson y Barclay. Esta diferencia —estima Maxwell— es superior a la que debe esperarse de un error de observación, lo que pondría al descubierto las limitaciones de la ley y de la teoría en que se apoya. No obstante, piensa que «deben ser mejoradas nuestras teorías de la estructura de los cuerpos antes de que podamos deducir sus propiedades ópticas a partir de sus propiedades eléctricas». Las discrepancias halladas nos llevarían a aceptar «que la raíz cuadrada de K, aunque no es la expresión completa para el índice de refracción, es al menos lo mejor para determinarlo», si bien debe admitirse el grado de dificultad que se tiene. De acuerdo con Berkson (1985: 218), las interesantes relaciones entre la transparencia y la resistencia eléctrica, y entre el índice de refracción y las constantes dieléctrica y magnética, encontraron la dificultad de la inexistencia de una teoría de la interacción entre materia y campo, lo que impidió que todas estas relaciones —incluida la ley de Maxwell— pudieran ser entonces directa y rigurosamente comprobadas. Éste es el problema con el que se enfrenta Cabrera, a finales del año 1903, cuando presenta la nota que comentamos ante la Sociedad Española de Física y Química.

## INTRODUCCIÓN

En su artículo Cabrera se plantea como problema analizar «el estado actual» (1903b: 309) de la conocida relación —o ley— de Maxwell  $K = n^2$ , que había sido deducida de la teoría electromagnética de la luz, con objeto de demostrar su exactitud o falsedad.



En esto se adivina que es receptivo al esfuerzo que muchos físicos habían desplegado para alcanzar una solución definitiva en este sentido. Aunque la medida de estas constantes se pueden hacer con bastante aproximación, entiende Cabrera que las dificultades aparecen cuando se analizan con cierta profundidad el significado físico de las mismas, puesto que es sabido que la velocidad de propagación de un movimiento periódico –como es el caso de la luz– varía para un mismo medio con la longitud de onda.



1. Portada del primer volumen de las actas del I Congreso Internacional de Física (París, 1900).

Sobresale el hecho de que el poder inductor específico  $K$  –o constante dieléctrica– se mide normalmente por métodos estáticos, que es conveniente para «conservar a esta constante su genuino significado» (1903b: 309); en este caso la perturbación producida en el dieléctrico considerado no es periódica, o lo que es lo mismo, su longitud de onda sería infinitamente larga –de período infinito–. Consecuentemente en este supuesto el índice de refracción que se deduce de la ley de Maxwell sólo puede determinarse por extrapolación, cuando se conoce la ley de dispersión de la sustancia. Además

–indica Cabrera– se pensó en un principio que el valor del índice de refracción no difería mucho del que corresponde a las radiaciones visibles y que, en todo caso, se podía determinar por la ecuación de Cauchy  $n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$ , donde A, B y C son constantes características de cada sustancia, que de hecho representa con notable precisión el comportamiento del índice de refracción en la región visible del espectro. No obstante, se demostró más tarde la falsedad de los presupuestos teóricos en los que se apoyaba, por lo que debe considerarse como una ecuación empírica para todos los efectos<sup>4</sup>. Añade Cabrera que en los años precedentes a 1903, apoyándose en esta idea, se consideró fuera de toda duda que los gases y un extenso grupo de líquidos obedecían satisfactoriamente a la ley de Maxwell; por otra parte, para los sólidos no se podía decir lo mismo, porque existían muchas sustancias como el cuarzo, la fluorina –fluor–, así como diferentes especies de vidrio óptico, cuyo poder inductor duplica, y a veces incluso más, el cuadrado del índice de refracción.

Era evidente para Cabrera que la fórmula de Cauchy –expresada más arriba– no tiene una validez general, como se había considerado hasta entonces, quedando su campo de aplicación restringido a los casos de las sustancias que presentan dispersión normal en toda la extensión del espectro, caso que él consideraba como «muy raro y desde luego diferente del que presentan los cuerpos arriba citados» (1903b: 310), para los que se había comprobado la existencia de bandas de absorción y dispersión anómala en el infrarrojo. Apoyaba estas conclusiones en un estudio crítico completo de las leyes de dispersión de A. Carvalho (1900: 175) y también otro de Heinrich Rubens (1865-1922) sobre el espectro infrarrojo (1902: II, 141), cuyos informes fueron presentados en el Congreso Internacional de Física de 1900<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Esta fórmula de Cauchy (1836) representa el primer logro para expresar analíticamente la dispersión normal (Jenkins & White, 1964: 508).

<sup>5</sup> I Congreso Internacional de Física, celebrado en París del 6 al 12 de agosto de 1900.

En el caso de que exista dispersión anómala, los resultados experimentales –señala Cabrera– estaban de acuerdo «con admirable claridad» (1903b: 310) en que la fórmula más exacta de las conocidas era la de Ketteler-Helmholtz –que también aparece en los textos como la ecuación de Sellmeier–, con un número de términos en  $\frac{1}{\lambda^2 - \lambda_v^2}$  coincidente con el número de bandas de absorción presentes en la sustancia, y que podemos escribir –de acuerdo con Maclaurin (1908: 367)– en la forma  $n^2 = K + \sum \frac{C_v}{\lambda^2 - \lambda_v^2}$ .

Rubens había aplicado esta fórmula, notablemente diferente de la ley de Maxwell y de la fórmula de Cauchy, para calcular el índice de refracción  $n_\infty^2$  para los mencionados materiales, con una concordancia admirable –dice Cabrera– con los poderes inductores medidos que son expuestos en la tabla que figura a continuación:

	k	$n^2$	$n_\infty^2$	
Fluorina....	6,8 (Curie).	2,07 (Curie)	6,0104	} (Rubens)
Cuarzo.....	4,58 (Curie).	2,41 (Curie)	4,57877	
Sal gemma..	5,85 (Curie).	2,36 (Curie)	5,1790	
Flint.....	6,7 á 9,1 (Hopkinson).	3,06 3,06 <sub>p</sub>	6,77611	

II. Tabla de valores de Rubens, que Cabrera transcribe en su artículo (1903b: 310).

Estima Cabrera que los resultados hallados por Rubens son «un precioso argumento a favor de la ley de Maxwell», por lo que es necesaria la prudencia antes de decidir un juicio desfavorable a ella, de tal forma que se fundamente sólo en un estudio poco completo de las constantes que relaciona.

#### GRUPO DE FENÓMENOS QUE AFECTAN A LAS CONSTANTES FÍSICAS QUE INTERVIENEN EN LA LEY DE MAXWELL, K Y N

Cabrera se refiere ahora a un grupo de fenómenos relacionados con el poder inductor y el índice de refracción, que habían sido utilizados para refutar o confirmar la ley de Maxwell. Admite

que a esta clase de contribuciones pertenece el estudio realizado por Charles Borel (1893a: 131)<sup>6</sup> «sobre la situación de las normales a los planos cíclicos del elipsoide de inducción, con relación a los ejes ópticos correspondientes al espectro visible», para diferentes sustancias que cristalizan en los sistemas «terbinario y binario»<sup>7</sup>. El físico suizo<sup>8</sup> comprobó la coincidencia de las normales mencionadas con los ejes de refracción exterior de la radiación  $\lambda = \infty$  y «...por medio de una fórmula bien conocida [*sic*]» (p. 311) determinaba los ejes ópticos para  $\lambda = \infty$ . La orientación de estos ejes estaría también fijada mediante el signo y la forma de dispersión del cristal estudiado. La comparación de ambos resultados –dice– dará una indicación de gran valor sobre la verificación de la ley que se discute; y concluye advirtiendo que dicha comparación es «casi siempre completamente concluyente, y aun en los casos dudosos sus resultados no son contrarios a ella». El trabajo de Borel –c 1893– se basaba en la determinación de las constantes dieléctricas de algunas sustancias ortorrómbicas y clinorrómbicas. Los materiales que usó para sus experiencias fueron algunos sulfatos dobles, seis veces hidratados, que le permitieron observar la orientación de esferas cristalizadas en los sistemas orto y clinorrómbicos y también los valores absolutos de las constantes dieléctricas de dichas esferas, haciendo uso del método de Boltzmann ligeramente modificado<sup>9</sup>.

Otro trabajo del que se ocupa Cabrera, que presentaba objeciones a la ley de Maxwell, fue el desarrollado por Edmond van Aubel (1864-1941) –Universidad de Gante– «apoyándose en la comparación del índice y del poder inductor específico» (1902: 311) a medida que aumenta el peso molecular en las series homólogas

<sup>6</sup> Citado por Cabrera (1903b : 310). Vid. también Borel (1893b).

<sup>7</sup> La terminología que utiliza para los sistemas de cristalización no coincide con la de Borel quien utiliza los nombres orto-rómbico y clino-rómbico –respectivamente– para los sistemas mencionados –que se corresponden con el sistema prismático recto rectangular, el primero; y el sistema trimétrico, o monoclinico, el segundo.

<sup>8</sup> El método de Boltzmann fue adoptado por Charles Borel siendo todavía un estudiante en la Universidad de Ginebra, en donde se doctoró en 1888 para posteriormente pasar a Gottingen, donde permaneció hasta 1900.

<sup>9</sup> Para obtener más detalles de estas experiencias de Borel, se puede consultar también Dongier (1894).

de líquidos orgánicos nitrogenados, dado a conocer mediante una nota que fue presentada en la *Académie des Sciences* por Gabriel Lippmann (1845-1921) –sesión del 5 de mayo de 1902–. En efecto el autor nos explica cómo

parece útil dar a conocer las excepciones a la importante ley de Maxwell  $n^2 = K$ , que establece una relación entre el índice de refracción y la constante dieléctrica, a fin de poder determinar las razones por las cuales diversas sustancias no satisfacen esta fórmula.

Aubel se refiere a una investigación realizada en este mismo tema por A. J. Batschinsky –de Breslau– en 1901, y se propuso examinar, desde este punto de vista, el comportamiento de algunas sustancias orgánicas en estado líquido, que contienen «azote» –nitrógeno–. Por otro lado, el físico Hermann Schlundt (1869-1937) había medido las constantes que figuran en la ley de Maxwell para algunos líquidos puros, utilizando el método de Paul Drude (1863-1906), y comprobó que en las series homólogas examinadas las constantes dieléctricas disminuyen a medida que aumenta el peso molecular.

De acuerdo con lo que nos dice Cabrera, se daba la circunstancia de que los índices de refracción habían sido tomados de las tablas de Henry Dufet (1848-?) –muy utilizadas en la época– y se refieren todos a la raya D del espectro. De los datos que manejaba van Aubel se deduce un resultado que Cabrera subraya: «mientras el poder inductor [constante dieléctrica] disminuye cuando el peso molecular aumenta, el índice varía en sentido contrario» (1903b: 311). ¿Es esta conclusión contraria a la ley de Maxwell? –se pregunta–. Explica Cabrera que la respuesta no sería difícil de formular si los índices se correspondieran con  $\lambda = \infty$ , en lugar de referirse a la raya D. La falta de acuerdo entre la ley de Maxwell y los resultados experimentales se explicaba si se tenía en cuenta –afirmaba Drude hacia 1900– que el índice de refracción depende en todo caso del color de la luz utilizada –longitud de onda–, y por el contrario, la constante dieléctrica de un medio no conductor homogéneo es independiente del período en un amplio campo de validez. A pesar de que este fenómeno era generalmente conocido, se consideraba natural comprobar la relación  $K = n^2$  por medio de la ecuación de la dispersión de Cauchy  $n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \dots$ , siempre que  $n$  sea el índice

de refracción de ondas infinitamente largas  $\lambda = \infty$ , coincidente con lo que afirma Cabrera (Drude, 1902: 338-339); por otra parte existía el acuerdo de que si bien la teoría electromagnética de la luz daba cuenta analíticamente de los fenómenos observados, sin embargo, los valores exactos de las constantes ópticas no podían obtenerse a partir de medidas eléctricas, ya que la orientación de los ejes de simetría óptica dependen también, como se sabe, de la longitud de onda (Dufet, 1898-1900).

La conclusión a la que ha llegado Cabrera es que el índice de refracción y la constante dieléctrica son magnitudes que no son comparables en un procedimiento de medida. Pese a ello, desea resolver el problema de la verificación de la ley –que considera exacta–, mediante un esfuerzo de imaginación y el manejo hábil de los datos experimentales. Aquellas variaciones de las dos magnitudes en sentido inverso, le parecen que pueden ser compatibles, siempre y cuando las curvas de dispersión se cortasen. Comprendía que intentaba algo con poco rigor; por eso dice que «es muy difícil, si no imposible, dada la escasa amplitud de la porción del espectro para la cual la dispersión está estudiada, el formar juicio serio sobre nuestra manera de interpretar aquella anomalía» (1903b: 311). A pesar de todo cree que se puede «entrever algo que por lo menos sirve para quitar fuerza a la objeción que discutimos» (1903b: 311). Supone que si las curvas de dispersión se cortan realmente, entonces «es evidente que a medida que nos vayamos aproximando al infrarrojo, la diferencia entre los índices relativos a sustancias diferentes debe ir disminuyendo» (1903b: 312).

#### DIFERENCIAS ENTRE VALORES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN SERIES HOMÓLOGAS PARA DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA

Para realizar la comparación deseada, Cabrera utiliza las tablas de H. Dufet, pero con la precaución de elegir entre las series que se refieren a una misma sustancia «aquellas que son completamente comparables para todos los líquidos, atendiendo al observador, época de la observación y temperatura» (1903b: 312), puesto que las pequeñas diferencias sobre las que se deben hacer comparaciones aconsejan proceder con la mayor cautela posible.

Los datos se reflejan en una tabla que confecciona con tres series homólogas de medidas realizadas por J. H. Gladstone (1891), Leopold Læwenherz (1847-1892) en 1890 (Læwenherz, 1890: 552) y Eikman (1893), sobre sustancias nitrogenadas, en un rango de longitudes de onda entre  $\lambda = 0,396 \mu$  y  $\lambda = 0,759 \mu$ . Estos valores reunidos en la tabla que figura en el artículo y que nosotros incluimos aquí, determina que las diferencias entre los índices de refracción, si se exceptúa el nitrometano, disminuyen a medida que aumenta la longitud de onda, verificándose la hipótesis anticipada por Cabrera; tal resultado aconseja —puntualiza Cabrera— que antes de admitir las conclusiones de van Aubel, que como se ha dicho se refería a la variación en sentido inverso del poder inductor específico y del índice de refracción a medida que aumenta el peso molecular de las sustancias nitrogenadas utilizadas, sería necesario estudiar la dispersión en un rango más amplio del espectro.

	$F (\lambda=0,396)$	$F (\lambda=0,486)$	$D (\lambda=0,5890)$	$C (\lambda=0,6563)$	$A (\lambda=0,759)$	$K$
<b>Observador:</b>						
<b>Gladstone.—1891.</b>						
1. Dietilamina. (t. = 22.°)...	1,3993	1,3906			1,3805	3,58
2. Tricetilamina. (21.° 2)...	1,4165	1,4067			1,3961	2,95
3. Dipropilamina. (21.° 2)...	1,4184	1,4094			1,3994	2,90
Dif. (2-1).....	0,0172	0,0161			0,0156	-0,63
Dif. (3-1).....	0,0191	0,0188			0,0189	-0,68
<b>Observador:</b>						
<b>Læwenherz.—1890.</b>						
1. Nitrometano. (20.°).....		1,3879	1,3817	1,3791		40,4
2. Nitroetano. (20.°).....		1,3979	1,3920	1,3895		29,5
Dif. (2-1).....		0,0100	0,0103	1,0104		-10,9
<b>Observador:</b>						
<b>Eikman.—1893.</b>						
1. Acetonitrilo. (14.° 1)...		1,35123		1,34553		36,4
2. Propionitrilo. (14.° 2)...		1,37336		1,36718		26,5
3. Cianonitrilo. (14.° 2)...		1,41317		1,40650		15,5
Dif. (2-1).....		0,02213		0,02165		-9,9
Dif. (3-1).....		0,07234		0,06997		-20,9

III. Diferencia entre índices de refracción que debe ir disminuyendo a medida que nos acercamos al infrarrojo (Cabrera, 1903b: 312).

Otro caso que puede dar mayor fuerza a su idea es el representado por una serie de medidas del poder inductor específico realizadas por Negreano (1892: 345), de ellas fueron elegidas las que

representan –opina Cabrera– los dos casos posibles relacionados con la comparación realizada por van Aubel. En las series que se indican en la tabla adjunta «aparecen con claridad» (Cabrera, 1903b: 314) el aumento de la diferencia de los índices de refracción con la longitud de onda, cuando la diferencia entre valores del poder inductor específico presenta una variación en el mismo sentido que la que sufre el índice de refracción; y, al contrario, si estas variaciones son en sentido opuesto. En relación con estas ideas –hace notar Cabrera– Schmidt había demostrado que algunos metales, como el plomo y el talio, cuando forman parte de un vidrio, producen una elevación notable del índice de refracción e igual efecto sobre el poder inductor específico, resaltando así la influencia del medio sobre el comportamiento óptico.

	<u>Benzeno.</u>		<u>Cymeno.</u>	<u>Diferencia.</u>	
A ( $\lambda = 0^{\mu},760$ )...	1,4893	24 <sup>o</sup>	1,4674	0,0219	} Gladstone. 1863.
B ( $\lambda = 0^{\mu},687$ )..	1,4928		1,4697	0,0231	
D ( $\lambda = 0^{\mu},589$ )...	1,4993		1,4744	0,0249	
F ( $\lambda = 0^{\mu},486$ )...	1,5109		1,4835	0,0274	
H ( $\lambda = 0^{\mu},397$ )...	1,5320		1,4985	0,0335	
<i>K</i> .....	<u>2,2921</u>		<u>2,4706</u>	<u>— 0,1785</u>	
	<u>Tolueno.</u>		<u>Pseudo eumeno.</u>		
C ( $\lambda = 0^{\mu},6553$ ..	1,4944	14 <sup>o</sup> ,7	1,5030	0,0086	} Landold y Ghan.
D ( $\lambda = 0^{\mu},589$ ...	1,4992		1,5072	0,0080	
F ( $\lambda = 0^{\mu},486$ ..	1,5104		1,5184	0,0079	
$\lambda$ H $\gamma$ ( $= 0^{\mu},4041$ ..	1,5203		1,5284	0,0079	
<i>K</i> .....	<u>2,3031</u>		<u>2,4310</u>	<u>0,1297</u>	

IV. Aumento de la diferencia de los índices de refracción con la longitud de onda, si la diferencia entre valores del poder de inductor es del mismo signo y una disminución en el caso inverso (Cabrera, 1903b: 314).



## COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN CON LA TEMPERATURA DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN Y DEL PODER INDUCTOR ESPECÍFICO DE LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

Opina Cabrera que las consideraciones anteriores no serían menos interesantes que las que pueden deducirse «de la comparación de los coeficientes de variación con la temperatura del índice y del poder inductor específico» (1903b: 314), ya que pensaba que era una comprobación novedosa que «hasta ahora [...] no ha sido por nadie realizada», y que por lo tanto añadía cierta originalidad al trabajo.

En relación a los líquidos –advierte Cabrera– no existe un solo ejemplo de aumento del índice con la temperatura, al menos en las tablas de H. Dufet, que había consultado. La derivada con respecto a la temperatura del poder inductor específico de estas sustancias en estado líquido es siempre negativa, tal como se deducía de las experiencias de Negreano (1892: 345-349), Palaz (1886: 370-377), Abegg (1897: 242) y Tangl (1903:748-767), entre otros físicos que se habían ocupado de este tema.

Si la ley que es objeto de este análisis  $K = n^2$  es exacta, nos dice Cabrera, debe cumplirse la derivada con respecto a la temperatura  $\frac{dK}{dt} = 2n \frac{dn}{dt}$ . Con el propósito de comprobar esta última ecuación, Cabrera presenta los cálculos de ambos miembros para el benceno, tolueno, xileno y el sulfuro de carbono.

Para la primera de las sustancias enumeradas más arriba, los índices y sus variaciones procedían de los resultados de Gladstone (1891: 290-301); a su vez, para la derivada de  $K$  fue utilizada –continúa diciendo– la fórmula calculada por Negreano y también los datos de Palaz. Con el tolueno los resultados de Perkin (1892) fueron utilizados para la comprobación del segundo miembro de la ecuación y asimismo para el primer miembro, los de Negreano y Palaz. En el xileno los resultados de Negreano sirvieron de base para el primer miembro, y para el segundo los de Gladstone & Dale (1863: 317-343). Finalmente, en el caso del sulfuro de carbono, para los índices de refracción y sus variaciones –segundo miembro de la ecuación– fueron utilizados los datos de Dufet y para la derivada de  $K$  se dedujeron de los resultados de Palaz.

---

	Benceno.	Tolueno.	Xileno.	Sulfuro de carbono.	
H ( $\lambda=0, \mu$ 3968)	-0,00 20284		-0,00 1793	-0,00 3558	} $2n \frac{dn}{dt}$
h ( $\lambda=0,$ 4102)				3236	
H $\gamma$ ( $\lambda=0,$ 4341)				3080	
F ( $\lambda=0,$ 4861)	18523	-0,00 17918		2860	
E ( $\lambda=0,$ 5270)				2774	
D ( $\lambda=0,$ 5890)	18052	17420	1696	2683	
C ( $\lambda=0,$ 6563)	17320	17126		2616	
B ( $\lambda=0,$ 6870)	17320			2595	
A ( $\lambda=0,$ 7594)	17780	16891	1627	2564	
$\lambda=\infty$ } Negro...	29911	22660	2397	16	
{ Palay...	35303	06388			

v. Resultado de los cálculos de ambos miembros de la ecuación, para benceno, tolueno, xileno y sulfuro de carbono (Cabrera, 1903b: 315).

En el análisis de la tabla, indica Cabrera que «salta a la vista» (1903b: 316), en primer lugar, la coincidencia del orden de magnitud de los dos miembros de la ecuación. Y añade que «no puede pedirse mucho más a este cálculo», si se tiene en cuenta que las diferencias de los valores  $\frac{dn}{dt}$  y de  $n$  para una misma raya y para diferentes experimentadores llega sólo a algunas décimas en el primero y a las centésimas en el segundo. Los datos que ha recogido de trabajos realizados en diferentes épocas y por distintos investigadores los utiliza con la intención de aprovechar todas estas investigaciones que se habían hecho, no lo olvidemos, tomando como base la exactitud de la ley de Maxwell, llegando sólo a comprobar que los resultados obtenidos coinciden en el orden de magnitud, un resultado que sólo puede interpretarse como una posible aproximación.

Para profundizar más, considera la variación del segundo miembro de la ecuación  $2n \frac{dn}{dt}$  que analiza en función de la longitud de onda, para lo que se podrá observar que este producto es decreciente y tiende hacia un mínimo «que es aparente en el benceno» (Cabrera, 1903b: 316), y cuya existencia para los productos restantes

«es verosímil», puesto que la expresión  $\frac{\Delta(2n \frac{dn}{dt})}{\Delta\lambda}$  decrece constantemente.

TOLUENO		XILENO		SULFURO DE CARBONO	
$\Delta\lambda$	$\Delta(2n \frac{dn}{dt})$	$\Delta\lambda$	$\Delta(2n \frac{dn}{dt})$	$\Delta\lambda$	$\Delta(2n \frac{dn}{dt})$
	$\Delta\lambda$		$\Delta\lambda$		$\Delta\lambda$
D—F	— 0,000 48395	D—H	— 0,000 5063	h —H	— 0,00 52135
C—D	43685	A—D	4049	H $\gamma$ —h	6527
A—C	22795			F—H $\gamma$	4231
				E—F	21027
				D—E	14677
				C—D	09055
				B—C	06840
				A—B	04282

VI. Variación de  $2n \frac{dn}{dt}$  con la longitud de onda  $\lambda$ .

En este punto —añade Cabrera— puede ocurrir que  $2n \frac{dn}{dt}$  alcance el mínimo para cierto valor finito de la longitud de onda  $\lambda$ ; o bien que tienda indefinidamente hacia él. En el primer caso —nos señala—  $\frac{dK}{dt}$ , que debe ser igual al valor de  $2n \frac{dn}{dt}$  para  $\lambda = \infty$ , será mayor que este mínimo y, por consiguiente, puede alcanzar valores por encima de los correspondientes al espectro visible. En el segundo caso  $\frac{dK}{dt}$  coincide con el propio límite mismo y será menor por tanto que los valores del espectro visible.

Teniendo en cuenta algunos resultados, se sabía que según las medidas de Negreano,  $\frac{dK}{dt}$  es siempre mayor que  $2n \frac{dn}{dt}$  para los líquidos utilizados en su trabajo. Las observaciones de Palaz indican lo contrario para el tolueno y el sulfuro de carbono. Pero conviene tener en cuenta —nos dice— que el valor de  $\frac{dK}{dt}$ , que se ha obtenido de las últimas experiencias que se han mencionado, no

es muy seguro para las sustancias citadas dado el exiguo número de puntos determinados. Cabrera concluye este párrafo diciendo que «éste es, en definitiva, uno de los muchos puntos oscuros de esta relación» (Cabrera, 1903b: 317) con lo que deja su análisis en una situación flotante, podríamos decir; entendemos que sería como una advertencia de que era necesario profundizar y extender la investigación, tanto teórica como experimental, para llegar a resultados más definitivos.

Al pasar a los sólidos, advierte que en este campo, donde «precisamente las experiencias deberían ser más concluyentes» (Cabrera, 1903b: 317), los trabajos son muy escasos, «faltan casi por completo», diría. Ocurre que mientras en los líquidos  $\frac{dn}{dt}$  es siempre negativo, en los sólidos resulta positivo o negativo, incluso cambia de signo con la longitud de onda. Se advierte, no obstante, que casi siempre parece existir una ley general única, según la cual los valores positivos de  $\frac{dn}{dt}$  decrecen al aumentar la longitud de onda, mientras que los negativos aumentan. Cabrera piensa que este comportamiento podría tener una explicación sencilla si se supone que el cambio de signo que se percibe en el espectro visible para algunos «crown» –una clase de vidrio óptico– existe siempre, en cuyo caso  $\frac{dK}{dt}$  deberá ser siempre negativo. Considera que no se puede avanzar en este terreno porque «el corto número de determinaciones de esta derivada que hasta el presente se posee nos impide pasar adelante en este estudio comparativo, que tanta luz puede arrojar sobre la ley que discutimos» (Cabrera, 1903b: 317).

A pesar de lo que había afirmado, parecía completamente demostrado que el poder inductor específico aumenta con la temperatura para algunos sólidos. Las medidas realizadas por Pellat & Sacerdote (1899: 17-20) demuestran que esta constante disminuye con la temperatura para la parafina y aumenta en el caso de la ebonita. Por su lado, Curie & Compan (1902: 1295-1297)<sup>10</sup> –Universidad

<sup>10</sup> La experiencia fue realizada en laboratorios del Instituto de Física de la Universidad de Montpellier, dirigido por el profesor Crova.

de Montpellier— habían demostrado una clara variación en el mismo sentido para algunas muestras de «crown». Estos físicos realizaron sus medidas por procedimientos electrostáticos y control de la temperatura por aire líquido, llegando a comprobar que la constante dieléctrica del vidrio aumenta con la temperatura, siguiendo una ley lineal,  $K = K_0 + AT$ , donde  $K_0$  representa el valor de la constante en el cero absoluto y A es otra constante característica del material empleado. Los resultados obtenidos —según los autores— no son privativos del vidrio, ya que se había comprobado que la variación del poder inductor para otros materiales sólidos, como la ebonita, la mica y el cuarzo, se comportan de forma análoga. Cabrera añade por último que, «al parecer», W. Cassie (?-1908) había obtenido análogos resultados para el cristal, la mica y la ebonita. Este último dato procede del libro de J. J. Thomson (1856-1940), *Aplications of dynamics to physics and chemistry*. Cassie había hallado —hacia 1888—, en el Cavendish Laboratory de Cambridge, que la capacidad inductiva específica<sup>11</sup> del vidrio, la mica y la ebonita aumenta a medida que crece la temperatura (Thomson, 1888: 102).

#### COMENTARIOS FINALES

Opinamos que Cabrera termina sin dar una solución definitiva y se conforma con plantear las anomalías en las que incurre la ley de Maxwell, dejando abierto el campo para que se hagan más amplias y profundas averiguaciones. Tal actitud puede exteriorizar una de sus características personales, ya que aparece con cierta frecuencia en sus escritos, al menos en los más antiguos. De todas formas, la idea que nos queda como resumen, desde nuestro punto de vista, es que para Cabrera la ley de Maxwell, consecuencia de la teoría electromagnética en la que confiaba, es exacta y las anomalías observadas proceden de una defectuosa interpretación de ella por parte de diferentes investigadores, quienes por lo tanto presentan solucio-

---

<sup>11</sup> Las denominaciones para la constante dieléctrica dependían de los autores y escuelas: Thomson —hacia 1880—, siguiendo a Maxwell, utiliza *capacidad inductiva específica*, mientras que Cabrera y los investigadores franceses prefieren *poder inductor específico*. El nombre de *constante dieléctrica* se impondrá, como es sabido, con el tiempo. También se sustituyó K por  $\epsilon$  para representarla.

---

nes de dudoso resultado. Era evidente que el índice de refracción debía ser una función de la frecuencia y tenía una relación directa con la estructura del material óptico empleado, pero la teoría electromagnética no daba explicaciones satisfactorias a estos resultados. La ley de Maxwell no se cumplía totalmente cuando se empleaba para hallar el índice de refracción de materiales diversos y los resultados positivos se reducían a longitudes de onda muy largas. En este caso se sabía que las longitudes de onda larga de radio se propagaban en el vacío con una velocidad expresable por el índice de refracción determinado a partir de la constante dieléctrica estática. La dispersión fue explicada de forma mucho más exacta cuando se desarrollaron las teorías electrónicas.

Nos sorprende desde luego que no haya extendido su trabajo a las teorías electrónicas entonces muy aceptadas, especialmente la de Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), por la que llegó a tener predilección un poco más tarde; o por poner otro ejemplo, la que se encuentra desarrollada en el magnífico libro de óptica de Paul Drude (1863-1906) de 1900, que Cabrera conocía y en el que su autor adelanta en el prefacio la imposibilidad de obtener una explicación de la dispersión óptica a partir «de simples experimentos eléctricos y magnéticos», puesto que los experimentos electromagnéticos puros conducen a conclusiones válidas sólo en el ámbito de las propiedades macrofísicas, siendo necesaria una hipótesis microfísica sobre las propiedades de los cuerpos, tal como la hipótesis iónica, que había sido introducida por Hermann von Helmholtz (1821-1894), de la que él mismo había hecho uso porque

me parece el método más simple, más inteligible y más consistente de presentar no sólo la dispersión, absorción y la polarización rotatoria, sino también los fenómenos magneto-ópticos y las propiedades ópticas de los cuerpos en movimiento (Drude, 1900: VII-VIII).

La sensación que se trasluce finalmente es la de que en esta temprana fecha de su carrera (1903), todavía existían aspectos de este campo que no había asimilado —o que desconocía—, lo que contrasta con otras entregas suyas de finales de la década. Valga como muestra en tal sentido su ponencia para el I *Congreso de la Sociedad Española para el Progreso de las Ciencias* (Zaragoza, 1908), en la que demuestra no sólo su conocimiento del electromagnetismo de

Maxwell-Hertz, sino también de la teoría electrónica de H. A. Lorentz y además en ella se evidencia una actitud de ánimo decidido a favor de la llamada «visión electromagnética del mundo», que fue ampliamente compartida y dio lugar a que se concibieran esperanzas de una teoría unificadora. Todo lo cual nos parece que indica que sus concepciones científicas evolucionaron rápidamente en poco tiempo, facilitando su incorporación a un nivel mucho más acorde con lo que se estaba haciendo en los centros europeos más avanzados, de forma especial en Francia, Alemania, Italia, Inglaterra y Holanda. Nos inclinamos a pensar que esta sorprendente evolución no es ajena al espíritu de superación que exhibían en 1903 los fundadores de la *Sociedad Española de Física y Química* y de los *Anales*, su órgano de expresión, con el claro propósito de elevar el nivel científico y fomentar la investigación entre los universitarios españoles, entre los que estaba también Blas Cabrera. De todas maneras, en el arranque del siglo XX, casi todos los físicos estaban satisfechos con los presupuestos heredados y trabajaban activamente para profundizar y ampliar los conocimientos científicos dentro del marco de la física clásica. Por lo tanto creemos que no se debe caer en una imagen falsa de lo que se estaba haciendo entonces en Madrid, y para evitarlo tenemos que hacer una conveniente transposición de mentalidad que nos permita comprender aquella situación dentro del contexto real existente entonces, y no hacerlo, como a veces ocurre indebidamente, desde la perspectiva de las condiciones y de la mentalidad actuales (Wróblewsky, 2000).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEGG, R., 1897. «Dielektrizitätskonstanten bei tiefen temperaturen». *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. 29: 242.
- AUBEL, E. van, 1902. «Sur la loi de Maxwell  $n^2 = K$  pour quelques composés contenant de l'azote». *Comptes Rendus*. 134: 1050-1052.
- BERKSON, W., 1985. *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Alianza Editorial, Madrid.
- BOREL, Ch., 1893a. «Recherches des constantes diélectriques principales de quelques substances cristallisées biaxes (ortho ou clinorhombiques)». *Archives de Sciences Physiques et Naturelles*. 3<sup>a</sup> serie, XXX: 131.
- BOREL, Ch., 1893b. *Recherches des constantes diélectriques principales de quelques substances cristallisées biaxes (orthorhombiques et clinorhombi-*
-

- ques), suivies d'une notice relative à des phénomènes dynamiques dus à l'électrisation résiduelle des diélectriques, dissertation. Impr. de Aubert-Schuchardt, Ginebra.
- CABRERA FELIPE, B., 1903a. «Algunas consideraciones sobre la ionización de los electrólitos». *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*. 1: 309-318.
- CABRERA FELIPE, B., 1903b. «Sobre el estado de la Ley de Maxwell  $K = n^2$ ». *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*. 1: 309-319.
- CARVALLO, A., 1900. «Sur les théories et formules de dispersion», en *I Congrès International de Physique*. II: 175.
- CURIE, J. & P. COMPAN, 1902. «Sur le pouvoir inducteur spécifique des diélectriques aux basses températures». *Comptes Rendus*. 134: 1295-1297.
- DONGIER, R., 1894. «Archives des sciences physiques et naturelles de Genève». *Journal de Physique Théorique et Appliquée*. 3: 223-232.
- DRUDE, P., 1902. *The Theory of Optics*. Longmans, Green and Co. Londres-Bombay.
- DUFET, H., 1898-1900. *Recueil de données numériques. Optique*. Société Française de Physique, Gauthier Villars et Fils, Paris, 3 vols.
- GLADSTONE, J. H., & T. P. DALE, 1863. «Researches on the Refraction, Dispersion, and Sensitiveness of Liquids». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 153: 317-343.
- GLADSTONE, J. H., 1891. «Molecular refraction and dispersion of various substances». *Journal of the Chemical Society Transactions*. 59: 290-301.
- GONZÁLEZ MARTÍ, I., 1903. «Índice de refracción de algunas disoluciones acuosas». *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*. 1: 207-214, 245-248 y 331-337.
- JENKINS, F. A., & H. E. WHITE, 1964. *Fundamentos de óptica*. Aguilar, Madrid.
- LÆWENHERZ, L., 1890. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. 6: 552.
- MACLAURIN, R. C., 1908. «On Optical Dispersion Formulae». *Proceedings of the Royal Society of London*. Serie A, 81, 548: 367-377.
- MAXWELL, J. C., 1881. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press, Oxford, 2ª ed. [1ª ed. en 1873].
- NEGREANO, D., 1892. «Variation de la constante diélectrique des liquides avec la température». *Comptes Rendus*. 114: 345.
- PALAZ, A., 1886. «Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques». *Journal de Physique Théorique et Appliquée*. 5, 1: 370-377.
- PELLAT, H. & P. SACERDOTE, 1899. «Sur la variation des constantes diélectriques avec la température». *Journal de Physique Théorique et Appliquée*. 8, 1: 17-20.
- ROLLER, D. E., & R. BLUM, 1990. *Electricidad, magnetismo y óptica*. Reverté, Barcelona.



- RUBENS, H., 1900. «Le spectre infrarouge», en *I Congrès International de Physique*. II: 141.
- SÁNCHEZ RON, J. M., & A. ROCA ROSELL, 1993. «Spain's First School of Physics». *Osiris*. 2ª Serie, 8: 127-155.
- TANGL, K., 1903. «Über die Änderung der Dielektrizitätskonstante einiger Flüssigkeiten mit der Temperatur». *Annalen der Physik*. 315, 4 [Drude's *Annalen*, 10, 4 (1903)]: 748-767.
- THOMSON, J. J., 1888. *Application of Dynamics to Physics and Chemistry*. Macmillan and Co., Londres-Nueva York.
- WRÓBLEWSKY, A. K., 2000. «Physics in 1900». *Acta Physica Polonica* [Departamento de Física de la Universidad de Varsovia]. 31: 179-196.

## APÉNDICES

Autores mencionados y consultados por Cabrera, con indicación del número de página en el original:

- Abegg, Richard Wilhelm Heinrich (1869-1910)  
Aubel, Edmond van (1864-1941), 311, 314  
Borel, Charles, 310  
Carvallo, A., 310  
Cassie, W., 317, 318  
Cauchy, Augustin Louis (1789-1757), 309, 310  
Compan, Paul, 317  
Curie, Jacques (1856-1941), 310, 317  
Dale, T. P., 315  
Drude, Paul (1863-1906), 311  
Dufet, Henry (1848-?), 311, 312, 315  
Ekman, F. L., 313  
Gahl, Rudolf, 314  
Gladstone, John Hall (1827-1902), 313, 314, 315  
Helmholtz, Hermann von (1821-1894), 310  
Hopkinson, 310  
Ketteler, Eduard (1836-1900), 310  
Landolt, Hans Heinrich (1831-1910), 314  
Lœwenherz, Leopold (1847-1892), 313  
Maxwell, James Clerk (1831-1879), 309, 310, 311  
Negreano, D., 315  
Palaz, Adrien, 315, 317  
Pellat, Henri (1850-1909), 317  
Rubens, Heinrich (1865-1922), 310  
Sacerdote, Paul, 317  
Schmidt, 314  
Tangl, Karl, 315
-

Listado de términos utilizados por Cabrera y el número de página correspondiente en el texto original:

Acetonitrilo, 313  
Anomalía, de van Aubel, 311  
Benceno, 314, 315, 316  
Capronitrilo, 313  
Cauchy, fórmula de dispersión, 309, 310  
Coeficientes de variación, índice de refracción y poder inductor, 314  
Constante dieléctrica, 311  
Cristal, aumento del poder inductor con la temperatura, 318  
Crown, vidrio, 317  
Cuarzo, 310  
Curvas de dispersión, 311  
Cymeno, 314  
Derivada, con respecto a la temperatura del índice de refracción, 315  
Derivada, con respecto a la temperatura del poder inductor, 315  
Dietilamina, 313  
Dipropilamina, 313  
Dispersión anómala, 310  
Dispersión, 311, 314  
Dispersión, fórmula de Cauchy, 309  
Dispersión, fórmula, 311  
Dispersión, ley, 309, 311  
Ebonita, 317  
Eje óptico, 311  
Espectro visible, 311  
Experiencia de van Aubel, 311  
Fluorina, 310  
Fórmula de dispersión, de Ketteler-Helmholtz, 310  
Fórmula, de Negreano, 315  
Índice de refracción, 309, 310, 311  
Índice de refracción, elevación con la temperatura, 314  
Índice de refracción, infrarrojo, 312  
Índice de refracción, variación con la longitud de onda, 314  
Índice de refracción, variaciones, 315  
Índice de refracción, vidrio, elevación por presencia de metales, 314  
Infrarrojo, 310  
Ley de dispersión, 309, 310  
Ley o relación de Maxwell, 309, 310, 311  
Líquidos orgánicos nitrogenados, serie homóloga, 311  
Líquidos, índice de refracción y poder inductor, variación con la temperatura, 314  
Longitud de onda, 309

---

Metal, presencia en vidrios ópticos, 314  
Método de Drude, 311  
Mica, poder inductor, aumento con la temperatura, 318  
Nitroctano, 313  
Nitrometano, 313, 314  
Objeción, de van Aubel sobre la ley de Maxwell, 311  
Parafina, 317  
Peso molecular, 311  
Plano cíclico, 310  
Plomo, 314  
Poder inductor de sólidos, aumento con la temperatura, 317  
Poder inductor específico, 309, 310, 311, 317  
Poder inductor específico, derivada con respecto a la temperatura, 315  
Poder inductor específico, variación con la longitud de onda, 314  
Poder inductor específico, variación con la temperatura, 314  
Poder inductor parafina, descenso con la temperatura, 317  
Poder inductor, ebonita, aumento con la temperatura, 317, 318  
Propionitrilo, 313  
Pseudoeumeno, 314  
Radiación visible, 309  
Radiación, longitud de onda infinita, 311  
Raya D del espectro, 311  
Relación o ley de Maxwell, 309, 310, 311  
Sistema cristalino, terbinario, binario, 311  
Sólidos, 317  
Sulfuro de carbono, 315, 316, 317  
Tablas de H. Dufet, 311  
Talio, 314  
Tolueno, 314, 315, 316, 317  
Tricetilamina, 313  
Variación, índice de refracción con el peso molecular, 311  
Variación, poder inductor con el peso molecular, 311  
Vidrio «crown», 317  
Vidrio, 310  
Xileno, 315, 316

---

Referencias señaladas por Cabrera, con indicación del número de nota y página en el texto original<sup>12</sup>:

- CARVALLO, A., 1900. «Sur les théories et formules de dispersion», en *1 Congrès International de Physique*, t. II, p. 175, nota 1, p. 310.
- RUBENS, H., 1900. «Le spectro infrarouge», en *1 Congrès International de Physique*, t. II, p. 141, nota 2, p. 310.
- BOREL, Ch., 1893. «Recherches des constantes diélectriques principales de quelques substances cristallines biaxes (ortho ou clinorombiques)». *Archives de Sciences Physiques et Naturelles*. 3<sup>a</sup> serie, t. III: 131, nota 3, p. 310.
- AUBEL, E. van, 1902. «Sur la loi de Maxwell  $n^2 = K$  pour quelques composés contenant de l'azote», *Comptes Rendus*. 134: 1050-1052, nota 1, p. 311.
- NEGREANO, D., 1892. «Variation de la constante diélectrique des liquides avec la température», *Comptes Rendus*. 114: 345, nota 1, p. 315.
- PALAZ, A., 1886. «Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques». *Journal de Physique Théorique et Appliquée*. 5, 1: 370-377, nota 2, p. 315.
- ABEGG, R., 1897. «Dielektrizitätskonstanten bei tiefen temperaturen». *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 29: 242, nota 3, p. 315.
- TANGL, K., 1903. «Über die Änderung der Dielektrizitätskonstante einiger Flüssigkeiten mit der Temperatur». *Annalen der Physik*. 315, 4 [*Drude's Annalen*, 10, 4 (1903)]: 748-767, nota 4, p. 315.
- PELLAT, H. & P. SACERDOTE, 1899. «Sur la variation des constantes diélectriques avec la température». *Journal de Physique Théorique et Appliquée*. 8, 1: 17-20, nota 1, p. 317.
- CURIE, J. & P. COMPAN, 1902. «Sur le pouvoir inducteur spécifique des diélectriques aux basses températures». *Comptes Rendus*, 134: 1295-1297, nota 2, p. 317.

---

<sup>12</sup> Hemos completado las reseñas incluyendo el nombre de los autores, así como los títulos de los artículos, nombre y volumen de la revista, año de publicación y páginas correspondientes.

---