

E.Weil : « NEWTON »

Texte original transcrit par Alain Deligne

2) Sir (seit 1705), Isaac [ajeak], engl. Physiker, Mathematiker und Astronom, Woolsthorpe-by-Colsterworth 4 Jan., 1643, † Kensington 31 März 1727, beigesetzt in der Westminster Abbey. N. war der Sohn eines Bauern; sein Vater starb vor der Geburt des Knaben und N. wuchs auf dem Lande unter der Obhut seiner Mutter und Großmutter auf. 1660 bezog N. das Trinity College in Cambridge, von 1669 – 1701 war er Prof. der Physik in Cambridge. 1671 wurde er Mitglied und 1703 Präsident der Royal Society in London. 1695 wurde er zum Aufseher der kgl. Münze und 1669 zum kgl. Münzmeister in London ernannt.

N. gehört zu den bedeutendsten Naturforschern aller Zeiten. Seine Entdeckungen bilden einen Wendepunkt in der Naturwissenschaft und Mathematik und darüber hinaus in der gesamten Geistesgeschichte der Menschheit. Seine wichtigsten physical. Entdeckungen veröffentlichte N. in dem Werk *Philosophia naturalis principia mathematica*, vollendet 1684, handschriftlich der *Royal Society* am 28. April 1686 vorgelegt, veröffentlicht 1687. Die Grundbegriffe Masse, Gewicht und Kraft werden hier zum erstenmal [sic] grundsätzlich geklärt, wobei der Erfahrungssatz von der Proportionalität von Masse und Gewicht an die Spitze gestellt wird. Als grundlegend für alle Bewegungsgänge stellt N. drei Bewegungsgesetze („Newtonsche Axiome“) zusammen, das Trägheitsgesetz Galileis, das Gesetz der den Kräften proportionalen Beschleunigung (> Newtonsches Kraftgesetz) und das Gesetz der Gleichheit von Kraft und Gegenkraft; hiermit erreichte die Dynamik ihre grundsätzliche Vollendung.

In Anwendung der Bewegungsgesetze auf Zentralbewegungen untersuchte N. die Bahnform bei verschieden wirkender Zentripetalkraft, wobei sich ergab, daß die Planetenbewegung nach den Keplerschen Gesetzen nur zustande kommt, wenn die Zentripetalkraft dem Produkt der Massen proportional und dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist; das ist der Inhalt des > Gravitationsgesetzes, das N. 1606 entdeckte, und das für Physik und Astronomie in gleicher Weise grundlegend wurde. Aus dem Gravitationsgesetz erklärte N. auch die Erscheinungen von Ebbe und Flut, berechnete die Massen des Mondes und der Planeten, bestimmte die Größe der Schwerkraft auf dem Mond, Jupiter und der Sonne und erkannte, daß der Gesamtschwerpunkt des Sonnensystems entweder ruht oder in dauernder gleichförmig-geradliniger Bewegung begriffen ist.

Hand in Hand mit diesen großen physikal. Entdeckungen ging die Newtonsche Erfindung der von ihm „Fluxionsrechnung“ genannten Differential- und Integralrechnung, durch die es möglich wurde, sonst völlig unlösbare Fragen der theoret. Physik und Astronomie anzugreifen; sie stellte das dem stetigen Naturgeschehen angemessene mathem. Werkzeug dar, das grundlegende physikal. Begriffe, wie Geschwindigkeit, Beschleunigung usw. als Verhältnis zweier unendlich kleiner Größen zu definieren erlaubte.

Die *Principia* enthalten als weitere Anwendungen der Bewegungsgesetze die Grundgesetze der Hydrodynamik und Aerodynamik, die Strömungserscheinungen, Wellenfortpflanzung gedämpfte Schwingungen, Untersuchungen über Molekularkräfte usw. Durch seine Schwingungsuntersuchungen wurde N. auch zum Begründer der Akustik, indem er die Berechnung der Schallgeschwindigkeit aus Luftdruck und Dichte angab und die für alle Wellenvorgänge grundlegende Beziehung zwischen Schwingungsdauer, Wellenlänge und Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle entdeckte.

Diese Ergebnisse der Forschungen N.s stellen rein theoret. Arbeiten dar; in seinem opt. Untersuchungen, die er in dem Werk *Optics or a Treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light* (1704, in Ostwalds Klassikern als Bd. 96-97) veröffentlichte, zeigt sich N. als großer Experimentator. N. wird durch Versuche nach, daß die Farben aus dem weißen Licht durch Brechung entstehen und daß umgekehrt durch Mischung aller Spektralfarben die Farbe Weiß erhalten wird; hierdurch gelangte N. zur Untersuchung der Mischfarben, wobei er zeigte, daß alle nur denkbaren Farben stets Gemische der reinen Spektralfarben sind.

Auch Fragen über die Natur des Lichtes haben N. beschäftigt. Bei seinen Untersuchungen über die Farben dünner Blättchen sowie über die Farbenringe (Newtonsche Farbenringe, > Interferenz), kam er zu der Erkenntnis, daß längs der Lichtstrahlen periodisch wechselnde, verschieden geartete „Zustände“ vorhanden seien, deren Größe im Spektrum von rot nach violett zu abnehme; N. verwendet aber mit Absicht, auf eine nähere Deutung dieser Zustände einzugehen.

Außer den obenerwähnten Hauptwerken schrieb N. weiter *Arithmetica universalis sive de compositione et resolutione arithmetica liber* (hg. Gegen N.s Willen v. Whiston 1707); *Analysis per quantitatum series, fluxiones et différentias cum enumeratione linearum tertii ordinis* (1711). Gesamtausgaben von N.s Werken erschienen 1744 in 3 Bänden, die bisher vollständigste Sammelausgabe wurde 1779-83 in 5 Bänden von Samuel Horstley herausgegeben. Alle diese Werke sind bald nach Erscheinen mit und ohne Kommentare und in Übersetzungen herausgegeben worden; vgl. darüber G. J. Gray: *Bibliography oft the works of Sir Isaac N.* (2. Aufl. 1908).

Den stärksten Einfluß haben N.s Anschauungen vom Wesen der Physik geübt. N. stellte den Forschungsgrundsatz auf « *hypotheses non fingo* »; damit forderte er als wissenschaftl. Richtlinie die

Erscheinungen zu beschreiben und eine mathem. Gesetzmäßigkeit rein für den Ablauf des Geschehens auf Grund von Experiment und Induktion zu suchen, ohne dahinterliegende Kräfte und Wesen anzunehmen. Dieser Gedanke hat die neuzeitliche Entwicklung der Naturwissenschaft und Naturphilosophie entscheidend bestimmt. Sowohl die franz. Aufklärung (Voltaire) wie Kant nehmen auf N.s Begriff der Natur als der von mechan. Gesetzen geregelten Einheit der Erscheinungen Bezug. Weltanschaulich stand N. selbst der Schule von Cambridge (Cambridger Schule) nahe, bes. More, und übernahm dessen religiösen Platonismus. Ferner hat die Lehre William Gilberts von den „ätherischen Geistern“ stark N. Theorie vom Äther beeinflusst. Seine im Alter verfaßten spekulativ-religiösen Schriften haben nur innerhalb seiner Schule große Wirkung getan. Mittelbar wurde jedoch seine Philosophie überaus wichtig durch die in seine Physik übergegangene Lehre vom absoluten Raum und von der absoluten Zeit, die auf Mores Auffassung des Raumes als des „Sensorium Gottes“, des Organs der Wirkung Gottes in der Körperwelt, zurückweist. In der Philosophie haben die Deisten aus diesem Gedanken und verwandten andern Beweise für das Dasein Gottes gebildet; Leibniz und Kant lehnten die Lehre ab. Die Physik hat die Lehre vom absoluten Raum und der absoluten Zeit im Großen Ganzen bis zur Relativitäts- und Quantentheorie beibehalten. Erst diese letzte Entwicklung hat N.s Einzellehren teils grundlegend erweitert, teils fallen gelassen, während sein methodischer Grundsatz in Geltung bleibt.

Lord Brougham: *Life of Sir Isaac N.* (1829); D. Brewster: *Sir Isaak N.s Leben nebst einer Darstellung seiner Entdeckungen* (1833); F. Rosenberger: *Isaak N. und seine physikalischen Prinzipien* (1895); Carra de Baur.: *Newton* (Paris, 1907); du Bois-Reymond: *Voltaire als Naturforscher* (Reden, Bd. I, 2. Aufl. 1912); Steinmann: *Über den Einfluß N.s auf die Erkenntnistheorie seiner Zeit* (1913); de Morgan: *Essays on the life and works of N.* (1914); Snow: *Matter and gravity in N.s physical philosophy* (mit Bibliographie, 1926); *Isaac N., 1642-1727, a memorial volume*, hg. v. W. J. Greenstreet (1927); Lenard: *Große Naturforscher* (2. Aufl. 1931).

Newtonisches Kraftgesetz, ein von N. > Newton aufgestelltes Grundgesetz der Mechanik, besagt in seiner urspr. Form, daß die zeitliche Änderung der Bewegungsgröße (des Impulses) eines Massenpunktes gleich der auf diesen Punkt einwirkende Kraft ist. Nimmt man die Masse als unabhängig von der Zeit und der Geschwindigkeit des Massenpunktes an, so kann dieser Satz auch in der folgenden, in der klass. Mechanik üblichen Form ausgesprochen werden:

Ist es die Masse des bewegten Punktes, K die auf diesen einwirkende Kraft und b die infolge der Einwirkung der Kraft auf diesen Punkt erlangte Beschleunigung, so ist: $K = m \cdot b$.

Die Bedeutung des N. K. für die theoret. Physik besteht weniger in der Möglichkeit, mit seiner Hilfe aus bekannter Masse und Beschleunigung die Kraft zu berechnen, als vielmehr umgekehrt darin, daß mit Hilfe dieses Gesetzes aus Masse und Kraft die Beschleunigung, damit also die

Bewegung des Systems bestimmt werden kann. Hierzu ist es in der Regel erforderlich, die das N. K. ausdrückende Gleichung in mehrere Gleichungen zu zerlegen, indem die Kraft und ebenso die Beschleunigung in ihre Komponenten bezüglich eines dem Problem angepaßten Koordinatensystems zerlegt werden.

Gravitationsgesetz, von Newton gefundenes allgemeingültiges Gesetz, das die Anziehung zweier Massen zu berechnen erlaubt. Das G. lautet: Zwei Körper ziehen aneinander an mit einer Kraft, die direkt proportional dem Produkt der beiden Massen, umgekehrt proportional dem ihrer Entfernung ist (> Massenanziehung).

Interferenz [nat.], **1**) In der elektromagnetischen Lichttheorie (> Maxwellsche Theorie) die Erscheinung des Zusammenwirkens von elektromagnet. Wellen (z. B. Radiowellen, Lichtwellen, Röntgenstrahlen) bei Zusammentreffen an einer Stelle des Raumes. Bes. leicht läßt sich die I. an Lichtstrahlen nachweisen, obwohl bei allen elektromagnet. Wellen die Erscheinungen grundsätzlich die gleichen sind. Sind die in eine Gerade fallenden interferierenden Lichtwellen gleich und haben sie einen geraden Vielfachen einer halben Wellenlänge, so verstärken sich beide Wellen zur Summe der Einzelwirkungen. Haben dagegen die Wellen bei gleicher Intensität einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge oder einem ungeraden Vielfachen hiervon, so löschen sie sich vollständig aus. Diese I. genannte Erscheinung erbringt den Beweis für die Wellennatur des Lichtes. Abb. 1 zeigt zwei Lichtquellen O und O' , die kohärente Strahlen gleicher Wellenlänge und Schwingungsrichtung nach dem gegenüberliegenden Schirm senden. Der Weg, den das Licht von den Punkten O und O' bis zum Schirm zurücklegen muß, ist nur für den Punkt P der gleiche. Hier treffen also die beiden Strahlen ohne Gangunterschied ein und formieren sich somit in ihrer Wirkung. Anders ist es für den Punkt D . Um zu diesem zu gelangen, möge der von O' kommende Strahl einen Weg zurückzulegen haben, der um eine halbe Wellenlänge länger ist als der des von O kommenden Strahles. Es treffen infolgedessen die beiden Strahlen mit einem Gangunterschied von einer halben Wellenlänge, also entgegengesetzter Phase, bei D auf den Schirm. Hier findet daher eine vollständige Auslöschung des Lichtes statt. Der nächstfolgende Punkt auf dem Schirm zeigt zwar einen noch größeren Wegunterschied für die beiden Lichtstrahlen, doch beträgt dieser eine ganze Wellenlänge, die Phase ist also wieder gleichgerichtet, und damit tritt wieder Verdoppelung der Lichterscheinung auf den Schirm ein. So wechseln im einfarbigen Licht helle und dunkle Streifen miteinander ab.

Um I. zu ergeben, müssen die Lichtbündel kohärent sein, d.h. in Wellenlänge, Schwingungsebene und Schwingungsphase dauernd einander gleichbleiben. Die erste experimentelle Anordnung zur Erzeugung von I. ist der Fresnelsche Spiegelversuch. Zwei schwach gegeneinander geneigte Spiegel ($S1$ und $S2$) werden von einer Lichtquelle E beleuchtet (Abb. 2). Das Licht wird von den Spiegeln so reflektiert, als ob es von den hinter den Spiegeln liegenden „virtuellen“ Lichtquellen $E1$ und $E2$ herkäme. Die Wellen sind, da sie von einer Lichtquelle

herrühren, unter allen Umständen kohärent, so daß in dem Raum, in dem Licht von E_1 und E_2 gleichzeitig auftritt, I, entstehen muß. Verwendet man ein einfarbiges Licht und fängt in diesem Interferenzraum das Licht auf einem Schirm auf, so zeigen sich auf diesem abwechselnd dunkle und helle Interferenzstreifen, deren Breite mit der Wellenlänge des angewandten Lichts wächst. Dabei zeigt die Stelle, die symmetrisch zu den beiden Lichtquellen E_1 und E_2 liegt, einen hellen Streifen, da hier kein Gangunterschied besteht. Die zu beiden Seiten liegenden ersten dunklen Streifen kommen durch einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge zustande, die darauffolgenden beiden hellen durch einen solchen von zwei halben Wellenlängen usw. Wird zur Hervorrufung der I. weißes Licht verwendet, so zeigt sich, daß nur die beiden mittelsten Streifen rein schwarz sind. Die nächstfolgenden dunklen Streifen haben nach der Mitte zu rote, nach außen hin blaue Säume; diese Erscheinung verstärkt sich bei jedem nächstfolgenden Streifenpaar, so daß schließlich nur ineinanderfließende farbige Streifen übrigbleiben, die zuletzt ein einheitl. Weiß bilden, Die Zahl der Interferenzstreifen bei weißem Licht ist infolgedessen geringer als bei einfarbigen. Statt des Spiegels kann nach Fresnel auch ein Biprisma (Abb. 3) benutzt werden. Die beiden Hälften derselben, jede ein Prisma von kleinem brechenden Winkel, erzeugen auch hier die virtuellen Bilder der Lichtquelle E .

Außer durch Reflexion und Brechung können auch durch Beugung aus einer Lichtwelle mehrere andere hergestellt werden, die miteinander interferierende Bündel liefern. Der älteste Versuch dieser Art stammt von Young. Durch eine Lichtquelle (Abb. 4) wird eine Öffnung a beleuchtet, von der die Strahlen auf zwei Öffnungen A_1 und A_2 fallen. Diese wirken nach dem > Huygenschen Prinzip als Ausgangspunkt neuer kohärenter Wellenzüge, liefern also auf einem Schirm S I. Auch beim Auffalen von Licht auf eine planparallele Platte (Abb. 5), in der sowohl an der Vorderseite wie an der Hinterfläche Reflexionen sich zeigen, die zwei kohärente Strahlen A_1I_1 , und CL_2 ergeben, kann I. auftreten.

An mehreren planparallelen Platten sind die nach dem Physiker Brewster benannten **Brewsterschen Streifen**. I, an dünnen Blättchen werden die Erscheinungen genannt, die auftreten, wenn Licht auf eine dünne, durchsichtige Lamelle fällt, die sich in einem Medium von anderm Brechungsindex befindet (z. B. Seifenblasen in Luft). Es tritt hier ebenfalls Reflexion sowohl an der Vorderfläche wie an der Hinterfläche und Rückfläche reflektierten Strahlen. Die sogenannten **Farben dünner Blättchen**, die bei Verwendung von weißem, also nicht homogenem Licht an dünnen Blättchen auftreten, sind Interferenzerscheinungen; durch I. wird bei jeder Dicke der Schicht eine Farbe ausgelöscht, so daß die Blättchen die Komplementärfarbe (> Farbe) zeigen. Die Farbe wechselt sofort bei Veränderung der Dicke des Blättchens; hierauf beruht z. B. das Farbenspiel auf einer Seifenblase, bei der durch Abfließen des Seifenwassers nach unten die Dicke der Haut beim Aufblasen sich an den verschiedenen Stellen verschieden ändert.

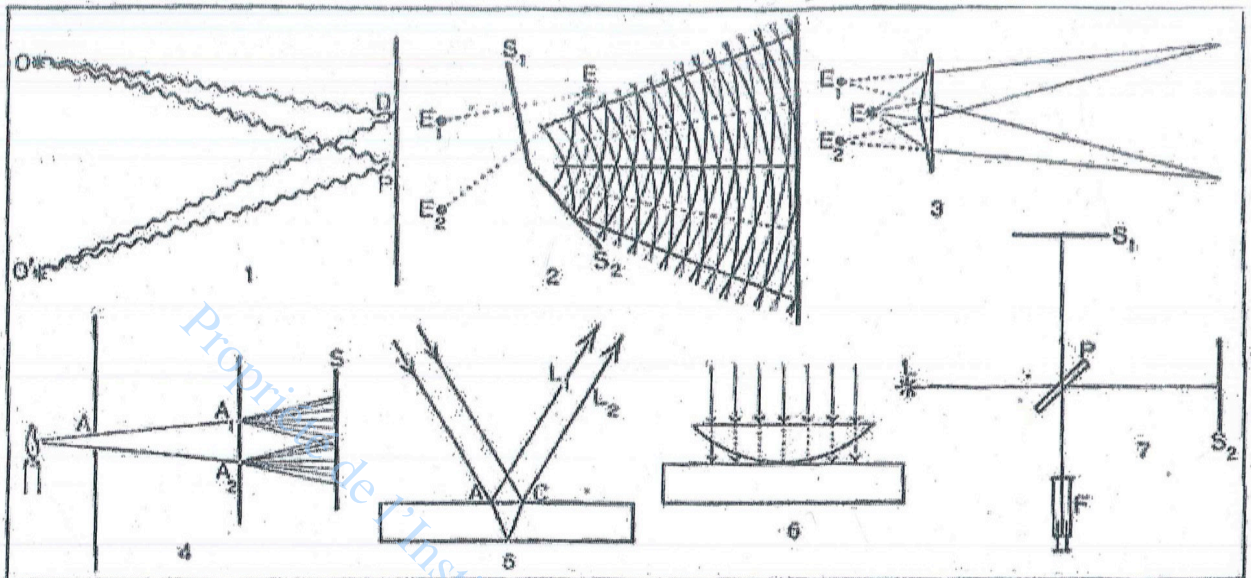
Eine Farbererscheinung, die durch die I. zustande kommt, stellen auch die **Newtonschen Farbenringe** dar. Wird eine ganz schwach gekrümmte Konvexlinie auf eine planparallele Platte gelegt, so bleibt zwischen den beiden Glaskörpern eine Luftschicht, deren Dicke in der Mitte Null ist und die von dort auf gleichmäßig nach allen Seiten in berechenbare Weise an Dicke zunimmt (Abb. 6). Fällt auf dieses System einfarbiges Licht senkrecht von oben, so zeigt sich in der Mitte ein dunkler Kreis, der von abwechselnd hellen und dunklen Streifen umgeben ist. Im durchfallenden Licht hingegen ist die Mitte hell und die beim ersten Versuch hellen Streifen sind dunkel geworden. Wird statt homogenen Lichtes weißes verwendet, so weist das Ringsystem die verschiedenen bunten Spektralfarben auf; in der Mitte fehlt alles Licht, dann treten nach außen zu Violett und Blau auf; Zwischen den Dicken von 0, 0001 und 0, 0002 mm kommen alle Farben zur Geltung, so daß die Mischfarbe Weiß entsteht, dann verschwinden zuerst Violett und Blau, wodurch die Tönung weißlichgelb wird, das unter dem dann vorherrschenden Rot allmählich in Braunrot übergeht.

In der Technik wird die I. verwendet, um das Verhältnis der Längeneinheit (also des Meters) zur Lichtwellenlänge zu bestimmen. Der bekannteste hierfür verwendete Apparat ist das **Interferometer** von Michelson (Abb. 7); es besteht aus den beiden Spiegeln *S1* und *S2*, der halbdurchlässigen und halbreflektierenden Platte *P* und dem Fernrohr *F*. Ein von *L* ausgehender Lichtstrahl wird teils nach *S1* reflektiert, teils durchsetzt er die Platte und trifft auf *S1*. Beide Spiegel reflektieren das Licht so, daß das von *S1* kommende Licht *P* durchdringt, das Licht von *S2* dagegen an *P* reflektiert wird und somit beide Strahlenbündel in das Fernrohr eintreten; in diesem findet I. statt. Eine gleiche Anwendung gestattet das Interferometer von Perot und Fabry, das auch eine planparallele Luftplatte zur Erzeugung von I. besitzt; dieses Interferometer wird auch zur Bestimmung des Brechungsindex von Gläsern und zur Bestimmung der Wellenlänge von Spektrallinien relativ zu andern schon bekannten Spektrallinien. Das **Interferenzspektroskop** von Lummer ist ein Spektroskop, bei dem statt einer Luftplatte eine planparallele Glasplatte zur Erzeugung der I. verwendet wird. Die Brewsterschen Interferenzerscheinungen finden Anwendung in dem **Interferentialrefraktor** von Jamin, der zur Brechungsindexuntersuchung dient. Bei diesem können in den einen Strahlenweg die zu untersuchenden Substanzen in Form einer planparallelen Platte eingeführt werden. Die Änderung des Gangunterschieds, also die Verschiebung der Interferenzstreifen, die dadurch hervorgerufen wird, ermöglicht die Berechnung.

Weiteres über I. von Röntgenstrahlen > Röntgenstrahlen.

Fôrsterling: *Lehrbuch der Optik* (1925); *Handbuch der Experimentalphysik*, hg. v. Wien und Harms, Bd. 18 (1929); *Handbuch der Physik*, hg. v. Geiger und Schrel, Bd. 20 (1928). – Weitere Literatur > **Optik**.

2) In der Akoustik die Auslöschung zweier Töne, die stattfindet, wenn die beiden Wellen in Schwingungszahl und Intensität übereinstimmen und die Knoten der einen Welle mit den Bäuchen der andern zusammenfallen. Erzeugung von I. von Tönen findet in den Interferenzröhren statt.



Interferenz: 1 Interferenz kohärenter Lichtquellen; 2 Fresnel'scher Spiegelversuch, die stark gezeichneten streife bedeuten Wellenberge, die schwach gezeichneten Wellentäler; 3 Fresnel'scher Versuch mit Prismen; 4 Interferenz durch Beugung; 5 Interferenz an planparallelen Platten; 6 Newton'sche Farbringe; 7 Michelson'sches Interferometer.

Propriété de l'Institut
Eric Weil, Université de Lille