Hypothese nur dann als abgeschlossene Theorie gelten, wenn sie *alles* Bekannte umschließt und nicht nur *einiges*, und wenn sie ferner in allen ihren Folgerungen bestätigt ist. Und selbst dann sollte sie für diesen nur als *vorläufig* abgeschlossen gelten, weil ja, wie die Geschichte der Wissenschaft lehrt, immer noch neue Tatsachen auftreten können, bei denen sie versagt.

Wien, den 13. Juli 1922.

F. Ehrenhaft.

Zur Krisis des Kausalitätsbegriffes.

Die Einsteinsche Relativitätstheorie, so hieß es zuerst bei einigen historisch orientierten Philosophen, sei nur für die der Gedankenarbeit früherer Generationen unkundigen Naturforscher etwas Neues; in Wirklichkeit fänden sich die modernen Anschauungen über die Relativität der Bewegung und des Raum- und Zeitbegriffes mindestens schon bei *Kant* deutlich ausgesprochen. Einem ähnlichen Mißverständnis scheint jetzt die Quantentheorie zum Opfer zu fallen, wenigstens was das formal Neuartige ihrer Beziehungen betrifft, und leider wohl nicht ganz ohne meine eigene Schuld; denn in einer kürzlich hier wiedergegebenen erkenntnistheoretischen Studie bemerkt Herr *Petzold*, indem er eine Stelle aus meinem Aufsatz über das Kausalproblem der Quantentheorie¹⁾ zitiert, daß die von mir aufgeworfenen Fragen und Zweifel bezüglich der erkenntnistheoretischen Grundlagen der Quantentheorie „vor einigen Jahrzehnten von der naturwissenschaftlichen Erkenntnistheorie im wesentlichen behandelt und zu einem Abschluß gebracht“ seien.

Im Zusammenhang der zitierten Stelle ist in meinem Essay von einer Art raumzeitlicher Fernwirkung innerhalb eines Quantenprozesses (Emission und darauf folgende Absorption eines Lichtquanten an einer anderen Stelle) die Rede, und es wird betont, daß die gegenseitige Bedingtheit von Emission und Absorption nicht verständlich wäre, wenn man die Emission in normaler Weise als die zeitlich vorangehende *Ursache* der Absorption ansähe; vielmehr müsse die Wechselbeziehung zwischen Emission und Absorption so aufgefaßt werden, daß beide Vorgänge sich in völlig symmetrischer Weise gegenseitig bedingen. Das veranlaßt Herrn *Petzold*, den Kern und die Lösung der von mir diskutierten Schwierigkeiten in der allerdings schon seit Jahrzehnten geläufigen Umkehrbarkeit des Zeitsinnes in allen Naturgesetzen zu suchen, die ja in dem gleichfalls angegriffenen Aufsatz von *Nernst*²⁾ an verschiedenen Beispielen so eindringlich vor Augen geführt wird. Bei aufmerksamem Studium meiner Bemerkungen hätte es aber doch möglich sein müssen, zu erkennen, daß hierin nicht das prinzipiell Neuartige liegt; das Neue ist vielmehr das, daß die genannten Elementarprozesse, die in sich raumzeitlich so fest und eng zusammenhängen, sowohl vorwärts wie rückwärts, ohne angebbaren Zusammenhang mit anderen Elementarerscheinungen sein müssen, also, wie ich es ausdrückte, „keine unmittelbare Ursache und keine unmittelbare Wirkung“ haben dürfen. Nicht ob ein mitt-

leres Glied einer unendlich langen Kette zu dem rechten oder linken Ende dieser Kette zu rechnen sei, ist mehr die Frage, sondern ob die einzelnen Glieder, in sich fest und zäh zusammenhängend, auseinandergerissen und als unabhängig von dem Schicksal der benachbarten Glieder anzusehen seien.

Diese Annahme, die ich in dem zitierten Aufsatz als eine einigermaßen notwendige Folgerung aus den vorliegenden Tatsachen und Gedankengängen darzutun versucht habe, würde in der Tat, wenigstens im Mikrokosmos, jenen gemischt kosmisch-chaotischen Charakter der Naturgesetze bedeuten, auf den Herr *Petzold* zwar als auf eine Denkmöglichkeit hinweist, den er aber sogleich durch eine biologische Schlußweise zu widerlegen sucht. Daß auch der Physiker nicht gerne, wenn auch zugunsten einer erhöhten Gesetzmäßigkeit innerhalb eines Elementarprozesses, auf die Annahme einer gesetzlichen Verknüpfung *aller* Ereignisse (also auf die „Laplacesche Weltformel“ von *Nernst*) verzichten möchte, ist selbstverständlich, und das ist es, was uns von einer Krisis des Kausalbegriffes in der Quantentheorie reden läßt; noch wichtiger aber als dieses Bedenken, das sich durch Gewohnheit abstupfen würde, ist unsere Unkenntnis darüber, wie das Gebiet der „chaotischen“ Ereignisse gegen das der „kosmischen“ abzugrenzen ist — die Quantentheorie der Dispersion, das Bereich der mechanisch oder durch Strahlungsdämpfung aperiodischen Bewegungen, das sind die Gebiete, auf denen wir am meisten unter dieser Unsicherheit leiden.

Daß die angenommene teilweise Unbestimmtheit der Elementarprozesse widersinnig wäre, wenn ihr nicht makroskopische Gesetze von statistischem aber sehr allgemeinem Charakter beigesellt zu denken wären, habe ich ebenfalls schon in meinem früheren Aufsatz ausgesprochen; die aus diesen makroskopischen Gesetzen folgende Konstanz der Bedingungen allein aber ist es, die durch die biologische Schlußweise von Herrn *Petzold* gestützt werden kann.

Wenn es mir zum Schluß erlaubt ist, zu den Gedanken in *Nernsts* Rektoratsrede und Herrn *Petzolds* Stellungnahme dazu meine Meinung zu äußern, so möchte ich noch folgendes sagen: Wenn Herr *Nernst* von dem vermutlich statistischen Charakter aller Naturgesetze gesprochen hat, derart, daß der Zusammenhang zwischen den (atomistischen) Elementarereignissen, wenigstens für menschliches Denken, nicht begreiflich ist, so meinte er damit doch wohl auch, was Herr *Petzold* in seinen kritischen Bemerkungen als „teilweise, chaotisches“ Geschehen bezeichnet hat. Jedenfalls kann die Unmöglichkeit, die gewöhnlichen Naturgesetze mit absoluter Sicherheit zu prüfen, nicht in einen direkten Zusammenhang mit dieser bedeutend weitergehenden Unmöglichkeit der Prognose bestimmter Elementarereignisse (z. B. dem Auftreffen eines bestimmten α -Teilchens auf einen Diamant) in Zusammenhang gebracht werden. Natürlich wird man vorläufig noch versuchen, durch Einschieben unbekannter Mechanismen die „Laplacesche Forderung“ auch in diesem Falle zu befriedigen; es liegen aber doch, besonders von der quantentheoretischen Seite her, genug Gründe vor, die eine prinzipielle Abweichung von einem in diesem Sinne gedeuteten Kausalitätsprinzip, wenigstens im Mikrokosmos, wahrscheinlich machen.

Berlin-Steglitz, den 6. Oktober 1922.

W. Schottky.

¹⁾ W. Schottky, Das Kausalproblem der Quantentheorie als eine Grundfrage der modernen Naturforschung überhaupt, diese Zeitschr. 9, 1921, S. 492 u. 506.

²⁾ W. Nernst, Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze, Berliner Rektoratsrede 1921, diese Zeitschr. 10, 1922, S. 489.