

VORWORT

GALILEO'S *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Welt-systeme* ist eine Fundgrube für jeden, der sich für die Geistesgeschichte des Westens und für deren Rückwirkung auf die ökonomische und politische Entwicklung interessiert.

Da offenbart sich ein Mann, der den leidenschaftlichen Willen, die Intelligenz und den Mut hat, sich als Vertreter des vernünftigen Denkens der Schar derjenigen entgegenzustellen, die auf die Unwissenheit des Volkes und die Indolenz der Lehrenden in Priester- und Professoren-Gewande sich stützend, ihre Machtpositionen einnehmen und verteidigen. Seine ungewöhnliche schriftstellerische Begabung erlaubt es ihm, zu den Gebildeten seiner Zeit so klar und eindrucksvoll zu sprechen, dass er das anthropozentrische und mythische Denken der Zeitgenossen überwand und sie zu einer objektiven, kausalen Einstellung zum Kosmos zurückführte, die mit der Blüte der griechischen Kultur der Menschheit verloren gegangen war.

Wenn ich dies so ausspreche, sehe ich zugleich, dass ich der weitverbreiteten Schwäche aller derer zum Opfer falle, die trunken von einer übermässigen Verliebtheit die Statur ihrer Heroen übertrieben darstellen. Es mag sein, dass die Lähmung der Geister durch starre autoritäre Tradition des dunklen Zeitalters im siebzehnten Jahrhundert bereits so weit gemildert war, dass die Fesseln einer überlebten intellektuellen Tradition nicht mehr für die Dauer standhalten konnten — mit oder ohne Galileo.

Nun, dieser Zweifel betrifft ja nur einen Sonderfall der Frage, inwieweit der Verlauf der menschlichen Geschichte durch ein-

FOREWORD

GALILEO'S *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* is a mine of information for anyone interested in the cultural history of the Western world and its influence upon economic and political development.

A man is here revealed who possesses the passionate will, the intelligence, and the courage to stand up as the representative of rational thinking against the host of those who, relying on the ignorance of the people and the indolence of teachers in priest's and scholar's garb, maintain and defend their positions of authority. His unusual literary gift enables him to address the educated men of his age in such clear and impressive language as to overcome the anthropocentric and mythical thinking of his contemporaries and to lead them back to an objective and causal attitude toward the cosmos, an attitude which had become lost to humanity with the decline of Greek culture.

In speaking this way I notice that I, too, am falling in with the general weakness of those who, intoxicated with devotion, exaggerate the stature of their heroes. It may well be that during the seventeenth century the paralysis of mind brought about by the rigid authoritarian tradition of the Dark Ages had already so far abated that the fetters of an obsolete intellectual tradition could not have held much longer — with or without Galileo.

Yet these doubts concern only a particular case of the general problem concerning the extent to which the course of history can be decisively influenced by single individuals whose qualities impress us as accidental and unique. As is understandable, our

viii zelle Individuen und deren als zufällig und einmalig empfundene Qualitäten entscheidend beeinflusst werden kann. Unsere Zeit steht solchen Auffassungen skeptischer gegenüber als das achtzehnte Jahrhundert und die erste Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts — begreiflicher Weise. Denn die weitgehende Spezialisierung der Berufe und des Wissens lässt den Einzelnen gewissermaßen als „auswechselbar“ erscheinen wie den Einzelteil einer durch Massenfabrikation hergestellten Maschine.

Der Wert des *Dialogs* als Dokument ist glücklicherweise von der Stellung zu solch prekären Fragen unabhängig. Vor allem gibt der Dialog eine überaus lebendige und überzeugende Darstellung der herrschenden Ansichten über den Bau des Kosmos im Grossen. Die im früheren Mittelalter herrschende kindliche Auffassung der Erde als einer flachen Scheibe, verknüpft mit ganz unklaren Ideen über den von den Sternen erfüllten Raum und die Bewegung der Gestirne, waren längst durch das Weltbild der Griechen, speziell durch Ideen des Aristoteles und durch die ptolemäische konsequente räumliche Auffassung der Gestirne und deren Bewegung verbessert. Das Weltbild, welches zur Zeit Galileos noch vorherrschte, war etwa folgendes:

Es gibt einen Raum, der einen bevorzugten Punkt, den Weltmittelpunkt besitzt. Die Materie — wenigstens der dichtere Teil derselben — sucht sich diesem Punkt möglichst zu nähern. Sie hat demzufolge ungefähr Kugelgestalt angenommen (Erde). Vermöge dieser Entstehung der Erde fällt der Mittelpunkt dieser Erdkugel praktisch mit den Weltmittelpunkt zusammen. Sonne, Mond und Sterne sind, damit sie nicht nach dem Weltmittelpunkt fallen, auf (durchsichtigen) starren Kugelschalen befestigt, deren Mittelpunkt mit den Weltmittelpunkt (oder Raummittelpunkt) zusammenfällt. Diese Kugelschalen drehen sich um den ruhenden Erdball (bezw. um den Weltmittelpunkt) mit etwas verschiedenen Winkelgeschwindigkeiten. Die Mondscheibe hat den kleinsten Radius; sie umschließt alles „Irdische“. Die äusseren Schalen mit ihren Gestirnen repräsentieren die „himmlische Sphäre“, deren Objekte als ewig, unzerstörbar und unveränderlich gedacht sind, im Gegensatz zur „unteren, irdischen Sphäre“, die durch die Mondscheibe umschlossen wird und alles enthält, was vergänglich, hinfällig und „sündhaft“ ist.

Natürlich ist diese kindliche Konstruktion nicht den griechischen Astronomen zur Last zu legen, die sich bei ihrer Dar-

age takes a more sceptical view of the role of the individual than did the eighteenth and the first half of the nineteenth century. For the extensive specialization of the professions and of knowledge lets the individual appear “replaceable,” as it were, like a part of a mass-produced machine.

Fortunately, our appreciation of the *Dialogue* as a historical document does not depend upon our attitude toward such precarious questions. To begin with, the *Dialogue* gives an extremely lively and persuasive exposition of the then prevailing views on the structure of the cosmos in the large. The naïve picture of the earth as a flat disc, combined with obscure ideas about star-filled space and the motions of the celestial bodies, prevalent in the early Middle Ages, represented a deterioration of the much earlier conceptions of the Greeks, and in particular of Aristotle's ideas and of Ptolemy's consistent spatial concept of the celestial bodies and their motions. The conception of the world still prevailing at Galileo's time may be described as follows:

There is space, and within it there is a preferred point, the center of the universe. Matter — at least its denser portion — tends to approach this point as closely as possible. Consequently, matter has assumed approximately spherical shape (earth). Owing to this formation of the earth the center of the terrestrial sphere practically coincides with that of the universe. Sun, moon, and stars are prevented from falling toward the center of the universe by being fastened onto rigid (transparent) spherical shells whose centers are identical with that of the universe (or space). These spherical shells revolve around the immovable globe (or center of the universe) with slightly differing angular velocities. The lunar shell has the smallest radius; it encloses everything “terrestrial.” The outer shells with their heavenly bodies represent the “celestial sphere” whose objects are envisaged as eternal, indestructible, and inalterable, in contrast to the “lower, terrestrial sphere” which is enclosed by the lunar shell and contains everything that is transitory, perishable, and “corruptible.”

Naturally, this naïve picture cannot be blamed on the Greek astronomers who, in representing the motions of the celestial bodies, used abstract geometrical constructions which grew more and more complicated with the increasing precision of astronomical observations. Lacking a theory of mechanics they tried to

x stellung der Sternbewegungen abstrakter geometrischer Konstruktionen bedienten, die mit wachsender Genauigkeit der Gestirns-Beobachtungen immer komplizierter wurden. In Ermangelung einer Mechanik suchte man alle die komplizierten (scheinbaren) Bewegungen auf die für die denkbar einfachste gehaltene zurückzuführen, nämlich auf die gleichförmige Kreisbewegung und die Superposition solcher Bewegungen. (Die Anhänglichkeit an die Idee der Kreisbewegung als der wahrhaft natürlichen spürt man noch sehr wohl bei Galileo; sie hat es wohl verhindert, dass er das Trägheitsprinzip und dessen zentrale Bedeutung völlig erkannte.)

Die obige Skizze stellt eine der barbarischen, primitiven Denkweise der damaligen Europäer angepasste Vergrößerung der spät-griechischen Ideen dar, welche letztere zwar unkausal, aber doch objektiv und frei von animistischen Auffassungen waren — ein Vorzug, den man der aristotelischen Kosmologie allerdings nur bedingt zubilligen kann.

Wenn Galileo für die Lehre des Kopernikus eintrat und kämpfte, so war es ihm nicht etwa nur darum zu tun, eine Vereinfachung der Darstellung der Sternbewegungen zu erzielen. Sein Ziel war es, eine erstarrte und unfruchtbar gewordene Ideenwelt zu ersetzen durch das vorurteilslose, mühevoll Ringen um eine tiefere und konsequentere Erfassung der physikalischen und astronomischen Tatsachen.

Die Dialogform des Werkes mag zum Teil auf Platos leuchtendes Vorbild zurückzuführen sein; sie erlaubte Galileos ungewöhnlicher literarischer Begabung eine scharfe und lebendige Gegenüberstellung der Meinungen. Freilich mag auch das Bedürfnis mitgewirkt haben, es auf diese Weise zu vermeiden, in eigener Person eine Entscheidung in den strittigen Fragen treffen zu müssen, die ihn der Vernichtung durch die Inquisition ausgeliefert hätte. Es war Galileo ja sogar direkt verboten worden, für die Lehre des Kopernikus einzutreten. Der *Dialog* stellt, abgesehen von seinem bahnbrechenden sachlichen Gehalt, einen geradezu schalkhaften Versuch dar, dies Gebot scheinbar zu befolgen, sich *de facto* jedoch darüber hinwegzusetzen. Es zeigte sich aber leider, dass die heilige Inquisition für solch feinen Humor nicht das adäquate Verständnis aufzubringen vermochte.

Die Theorie der ruhenden Erde stützte sich auf die Hypothese von der Existenz eines abstrakten Weltmittelpunktes. Dieser

reduce all complicated (apparent) motions to the simplest motions they could conceive, namely, uniform circular motions and superpositions thereof. Attachment to the idea of circular motion as the truly natural one is still clearly discernible in Galileo; probably it is responsible for the fact that he did not *fully* recognize the law of inertia and its fundamental significance.

Thus, briefly, had the ideas of later Greece been crudely adapted to the barbarian, primitive mentality of the Europeans of that time. Though not causal, those Hellenistic ideas had nevertheless been objective and free from animistic views — a merit which, however, can be only conditionally conceded to Aristotelian cosmology.

In advocating and fighting for the Copernican theory Galileo was not only motivated by a striving to simplify the representation of the celestial motions. His aim was to substitute for a petrified and barren system of ideas the unbiased and strenuous quest for a deeper and more consistent comprehension of the physical and astronomical facts.

The form of dialogue used in his work may be partly due to Plato's shining example; it enabled Galileo to apply his extraordinary literary talent to the sharp and vivid confrontation of opinions. To be sure, he wanted to avoid an open commitment in these controversial questions that would have delivered him to destruction by the Inquisition. Galileo had, in fact, been expressly forbidden to advocate the Copernican theory. Apart from its revolutionary factual content the *Dialogue* represents a downright *roguish* attempt to comply with this order in appearance and yet in fact to disregard it. Unfortunately, it turned out that the Holy Inquisition was unable to appreciate adequately such subtle humor.

The theory of the immovable earth was based on the hypothesis that an abstract center of the universe exists. Supposedly, this center causes the fall of heavy bodies at the earth's surface, since material bodies have the tendency to approach the center of the universe as far as the earth's impenetrability permits. This leads to the approximately spherical shape of the earth.

Galileo opposes the introduction of this "nothing" (center of the universe) that is yet supposed to act on material bodies; he considers this quite unsatisfactory.

But he also draws attention to the fact that this unsatisfactory

xii sollte den Fall der schweren Körper an der Erdoberfläche bewirken, indem die Körper das Streben haben sollen, sich diesem Weltmittelpunkte soweit zu nähern, als es die Undurchdringlichkeit zulässt. Dies Streben führt dann zu der annähernden Kugelgestalt der Erde.

Galileo wendet sich gegen die Einführung dieses „Nichts“ (Weltmittelpunkt), das doch auf die materiellen Dinge wirken soll; dies findet er ganz unbefriedigend.

Ferner aber macht er darauf aufmerksam, dass diese unbefriedigende Hypothese auch zu wenig leistet. Sie erklärt nämlich zwar die Kugelgestalt der Erde, aber nicht die Kugelgestalt der übrigen Himmelskörper. Die Mondphasen und die von ihm durch das neuentdeckte Fernrohr entdeckten Phasen der Venus bewiesen aber die Kugelgestalt dieser beiden Himmelskörper, die genauere Beobachtung der Sonnenflecken die Kugelgestalt der Sonne. Ueberhaupt war damals wohl ein Zweifel an der Kugelgestalt der Planeten und der Sterne überhaupt kaum mehr möglich.

Die Hypothese des Weltmittelpunktes war daher durch eine solche zu ersetzen, welche die Kugelgestalt der Sterne überhaupt und nicht nur der Erde verstehen lässt. Galileo sagt klar, dass dies eine Art Wechselwirkung (Bestreben gegenseitiger Näherung) der den Stern konstituierenden Materie sein muss. Diese selbe Ursache musste nun (nach Aufgeben des Weltmittelpunktes) auch den freien Fall der Körper an der Erdoberfläche bewirken.

Ich möchte hier — in Form einer Einschaltung — darauf aufmerksam machen, dass eine weitgehende Analogie besteht zwischen Galileos Ablehnung der Setzung eines Weltmittelpunktes zur Erklärung des Fallens der Körper und der Ablehnung der Setzung des Inertialsystems zur Erklärung des Trägheitsverhaltens der Körper (welche Ablehnung der allgemeinen Relativitätstheorie zugrunde liegt). Beiden Setzungen gemeinsam ist nämlich die Einführung eines begrifflichen Dinges mit folgenden Eigenschaften:

(1). Es ist nicht als etwas Reales gedacht, von der Art der ponderablen Materie (bezw. des „Feldes“).

(2). Es ist massgebend für das Verhalten der realen Dinge, ist aber umgekehrt keiner Einwirkung durch die realen Dinge unterworfen.

hypothesis accomplishes too little. Although it accounts for the spherical shape of the earth it does not explain the spherical shape of the other heavenly bodies. However, the lunar phases and the phases of Venus, which latter he had discovered with the newly invented telescope, proved the spherical shape of these two celestial bodies; and the detailed observation of the sunspots proved the same for the sun. Actually, at Galileo's time there was hardly any doubt left as to the spherical shape of the planets and stars.

Therefore, the hypothesis of the "center of the universe" had to be replaced by one which would explain the spherical shape of the stars, and not only that of the earth. Galileo says quite clearly that there must exist some kind of interaction (tendency to mutual approach) of the matter constituting a star. The same cause has to be responsible (after relinquishing the "center of the universe") for the free fall of heavy bodies at the earth's surface.

Let me interpolate here that a close analogy exists between Galileo's rejection of the hypothesis of a center of the universe for the explanation of the fall of heavy bodies, and the rejection of the hypothesis of an inertial system for the explanation of the inertial behavior of matter. (The latter is the basis of the theory of general relativity.) Common to both hypotheses is the introduction of a conceptual object with the following properties:

(1). It is not assumed to be real, like ponderable matter (or a "field").

(2). It determines the behavior of real objects, but it is in no way affected by them.

The introduction of such conceptual elements, though not exactly inadmissible from a purely logical point of view, is repugnant to the scientific instinct.

Galileo also recognized that the effect of gravity on freely falling bodies manifests itself in a vertical acceleration of constant value; likewise that an unaccelerated horizontal motion can be superposed on this vertical accelerated motion.

These discoveries contain essentially — at least qualitatively — the basis of the theory later formulated by Newton. But first of all the general formulation of the principle of inertia is lacking, although this would have been easy to obtain from Galileo's law of falling bodies by a limiting process. (Transition to vanishing vertical acceleration.) Lacking also is the idea that

xiv Die Einführung derartiger begrifflichen Elemente ist zwar vom rein logischen Gesichtspunkte nicht schlechthin unzulässig, widerstrebt aber dem wissenschaftlichen Instinkt.

Galileo erkannte auch, dass die Wirkung der Schwere auf frei fallende Körper in dem Auftreten einer vertikalen Beschleunigung von festem Werte sich manifestiere, und dass dieser vertikalen Fallbewegung sich eine unbeschleunigte Horizontalbewegung superponieren lasse.

In diesen Erkenntnissen ist wenigstens qualitativ die Basis der später von Newton formulierten Theorie im Wesentlichen bereits enthalten. Es fehlt aber bei Galileo erstens die allgemeine Formulierung des Trägheitsprinzipes, obwohl dieses durch Grenzübergang aus den von ihm gefundenen Gesetzen des freien Falles ganz leicht zu gewinnen war. (Uebergang zu verschwindender Vertikalbeschleunigung.) Es fehlte insbesondere noch die Idee, dass dieselbe Materie eines Himmelskörpers, welche an dessen Oberfläche eine Fallbeschleunigung erzeugt, auch imstande wäre einem anderen Himmelskörper eine Beschleunigung zu erteilen, und dass solche Beschleunigungen in Verbindung mit der Trägheit Umlaufbewegungen erzeugen können. Was aber gewonnen war, war die Erkenntnis, dass die Anwesenheit von Massen (Erde) eine Beschleunigung freier Körper (an der Erdoberfläche) bewirke.

Man kann sich heute nicht mehr vorstellen, was für eine grosse Phantasieleistung in der klaren Bildung des Begriffes der Beschleunigung und in der Erkenntnis der physikalischen Bedeutung dieses Begriffes lag.

Mit der wohlbegründeten Ablehnung der Idee von der Existenz eines Weltmittelpunktes war auch der Idee der ruhenden Erde und überhaupt die Idee einer Sonderstellung der Erde die innere Berechtigung genommen. Die Frage, was man bei der Darstellung der Bewegung der Himmelskörper als „ruhend“ zu betrachten habe, wurde dadurch zu einer Zweckmässigkeitsfrage. In Anlehnung an Aristarch-Kopernikus werden die Vorteile dargelegt, die man dadurch erzielt, dass man die Sonne als ruhend annimmt (nach Galileo nicht etwa eine blosse Konvention, sondern eine Hypothese, die „wahr“ oder „falsch“ ist). Da wird natürlich angeführt, dass die Annahme der Drehung der Erde um ihre Achse einfacher ist als eine gemeinsame Drehbewegung aller Fixsterne um die Erde. Ferner wird natürlich darauf hinge-

the same matter which causes a vertical acceleration at the surface of a heavenly body can also accelerate another heavenly body; and that such accelerations together with inertia can produce revolving motions. There was achieved, however, the knowledge that the presence of matter (earth) causes an acceleration of free bodies (at the surface of the earth).

It is difficult for us today to appreciate the imaginative power made manifest in the precise formulation of the concept of acceleration and in the recognition of its physical significance.

Once the conception of the center of the universe had, with good reason, been rejected, the idea of the immovable earth, and, generally, of an exceptional role of the earth, was deprived of its justification. The question of what, in describing the motion of heavenly bodies, should be considered “at rest” became thus a question of convenience. Following Aristarchus and Copernicus, the advantages of assuming the sun to be at rest are set forth (according to Galileo not a pure convention but a hypothesis which is either “true” or “false”). Naturally, it is argued that it is simpler to assume a rotation of the earth around its axis than a common revolution of all fixed stars around the earth. Furthermore, the assumption of a revolution of the earth around the sun makes the motions of the inner and outer planets appear similar and does away with the troublesome retrograde motions of the outer planets, or rather explains them by the motion of the earth around the sun.

Convincing as these arguments may be — in particular coupled with the circumstance, detected by Galileo, that Jupiter with its moons represents so to speak a Copernican system in miniature — they still are only of a qualitative nature. For since we human beings are tied to the earth, our observations will never directly reveal to us the “true” planetary motions, but only the intersections of the lines of sight (earth-planet) with the “fixed-star sphere.” A support of the Copernican system over and above qualitative arguments was possible only by determining the “true orbits” of the planets — a problem of almost insurmountable difficulty, which, however, was solved by Kepler (during Galileo’s lifetime) in a truly ingenious fashion. But this decisive progress did not leave any traces in Galileo’s life work — a grotesque illustration of the fact that creative individuals are often not receptive.

xvi wiesen, dass bei Annahme der Erdbewegung um die Sonne die Bewegungen der inneren und äusseren Planeten als gleichartig erscheinen und dass die so störenden rückläufigen Bewegungen der äusseren Planeten in Wegfall kommen, bezw. durch die Erdbewegung um die Sonne erklärt werden.

So stark diese Argumente sind, besonders in Verbindung mit dem von Galileo entdeckten Umstand, dass Jupiter mit seinen Monden gewissermassen ein kopernikanisches System in Miniatur uns vor Augen stellt, so sind doch alle diese Argumente nur qualitativer Art. Denn da wir Menschen auf der Erde festsitzen, so geben uns unsere Beobachtungen keineswegs die „wirklichen“ Bewegungen der Planeten, sondern nur die Schnittpunkte der Blickrichtungen Erde—Planet mit der „Fixstern-Sphäre“. Eine Stützung des kopernikanischen Systems, die über das Qualitative hinausging, war nur möglich, wenn die „wahren Bahnen“ der Planeten ermittelt wurden—ein fast unlösbar scheinendes Problem, das aber von Kepler zu Galileos Zeiten in wahrhaft genialer Weise gelöst wurde. Dass in Galileos Lebenswerk dieser entscheidende Fortschritt keine Spuren hinterlassen hat, ist ein groteskes Beispiel dafür, dass schöpferische Menschen oft nicht rezeptiv orientiert sind.

Grosse Anstrengung wird von Galileo darauf verwendet, zu zeigen, dass die Hypothese von der Dreh- und Umlauf-Bewegung der Erde nicht dadurch widerlegt wird, dass wir keine mechanischen Wirkungen dieser Bewegung wahrnehmen. Es war dies ein Vorhaben, das, genau betrachtet, mangels einer vollständigen Mechanik unlösbar war. Ich finde, dass gerade in dem Ringen mit diesem Problem Galileos Originalität sich besonders imponierend zeigt. Es ist Galileo natürlich auch wichtig zu zeigen, dass die Fixsterne so weit weg sind, dass die durch die jährliche Bewegung der Erde erzeugten Parallaxen für die damalige Messgenauigkeit unmessbar klein sein müssen. Auch diese Untersuchung ist genial bei aller Primitivität.

Zu seiner unrichtigen Theorie von Ebbe und Flut wurde Galileo verführt durch seine Sehnsucht nach einem mechanischen Beweis für die Erdbewegung. Die faszinierende Ueberlegung, welche hierüber im letzten Gespräch gegeben wird, würde wohl von Galileo selbst als nicht beweisend erkannt worden sein, wenn sein Temperament nicht mit ihm durchgegangen wäre. Ich widerstehe nur mühsam der Versuchung, darauf näher einzugehen.

Galileo takes great pains to demonstrate that the hypothesis of the rotation and revolution of the earth is not refuted by the fact that we do not observe any mechanical effects of these motions. Strictly speaking, such a demonstration was impossible because a complete theory of mechanics was lacking. I think it is just in the struggle with this problem that Galileo's originality is demonstrated with particular force. Galileo is, of course, also concerned to show that the fixed stars are too remote for parallaxes produced by the yearly motion of the earth to be detectable with the measuring instruments of his time. This investigation also is ingenious, notwithstanding its primitiveness.

It was Galileo's longing for a mechanical proof of the motion of the earth which misled him into formulating a wrong theory of the tides. The fascinating arguments in the last conversation would hardly have been accepted as proofs by Galileo, had his temperament not got the better of him. It is hard for me to resist the temptation to deal with this subject more fully.

The *leitmotif* which I recognize in Galileo's work is the passionate fight against any kind of dogma based on authority. Only experience and careful reflection are accepted by him as criteria of truth. Nowadays it is hard for us to grasp how sinister and revolutionary such an attitude appeared at Galileo's time, when merely to doubt the truth of opinions which had no basis but authority was considered a capital crime and punished accordingly. Actually we are by no means so far removed from such a situation even today as many of us would like to flatter ourselves; but in theory, at least, the principle of unbiased thought has won out, and most people are willing to pay lip service to this principle.

It has often been maintained that Galileo became the father of modern science by replacing the speculative, deductive method with the empirical, experimental method. I believe, however, that this interpretation would not stand close scrutiny. There is no empirical method without speculative concepts and systems; and there is no speculative thinking whose concepts do not reveal, on closer investigation, the empirical material from which they stem. To put into sharp contrast the empirical and the deductive attitude is misleading, and was entirely foreign to Galileo. Actually it was not until the nineteenth century that logical (mathematical) systems whose structures were com-

Das Leitmotiv von Galileos Schaffen sehe ich in dem leidenschaftlichen Kampf gegen jeglichen auf Autorität sich stützenden Glauben. Erfahrung und sorgfältige Ueberlegung allein lässt er als Kriterien der Wahrheit gelten. Wir können uns heute schwer vorstellen, wie unheimlich und revolutionär eine solche Einstellung zu Galileos Zeit erschien, in welcher der blosser Zweifel an der Wahrheit von auf blosser Autorität sich stützenden Meinungen als todeswürdiges Verbrechen betrachtet und bestraft wurde. Wir sind zwar auch heute keineswegs so weit von einer solchen Situation entfernt, als sich viele von uns schmeicheln mögen; aber der Grundsatz, dass das Denken vorurteilsfrei sein soll, hat sich inzwischen wenigstens in der Theorie durchgesetzt, und die meisten sind bereit, diesem Grundsatz Lippendienste zu leisten.

Es ist oft behauptet worden, dass Galileo insofern der Vater der modernen Naturwissenschaft sei, als er die empiristische, experimentelle Methode gegenüber der spekulativen, deduktiven Methode durchgesetzt habe. Ich denke jedoch, dass diese Auffassung genauerer Ueberlegung nicht standhält. Es gibt keine empirische Methode ohne spekulative Begriffs- und System-Konstruktion; und es gibt kein spekulatives Denken, dessen Begriffe bei genauerem Hinsehen nicht das empirische Material verraten, dem sie ihren Ursprung verdanken. Solche scharfe Gegenüberstellung des empirischen und deduktiven Standpunktes ist irreführend, und sie lag Galileo ganz ferne. Dies hängt schon damit zusammen, dass logische (mathematische) Systeme, deren Struktur völlig getrennt ist von jeglichem empirischen Gehalt, erst im neunzehnten Jahrhundert reinlich herausdestilliert wurden. Ausserdem waren die Galileo zur Verfügung stehenden experimentellen Methoden so unvollkommen, dass es nur gewagter Spekulation möglich war, die Lücken in den empirischen Daten zu überbrücken. (So gab es z.B. kein Mittel um Zeiten unter einer Sekunde zu messen.) Die Antithese Empirismus-Rationalismus erscheint bei Galileo nicht als Streitpunkt. Galileo tritt bei Aristoteles und seinen Schülern deduktiven Schlussweisen nur dann entgegen, wenn deren Prämissen ihm willkürlich oder unhaltbar erscheinen, aber er tadelt seine Gegner nicht weil sie sich überhaupt deduktiver Methoden bedienen. Er betont in mehreren Stellen im ersten Dialog, dass auch gemäss Aristoteles jede — auch die plausibelste — Ueberlegung fallen gelassen

pletely independent of any empirical content had been cleanly extracted. Moreover, the experimental methods at Galileo's disposal were so imperfect that only the boldest speculation could possibly bridge the gaps between the empirical data. (For example, there existed no means to measure times shorter than a second.) The antithesis Empiricism *vs.* Rationalism does not appear as a controversial point in Galileo's work. Galileo opposes the deductive methods of Aristotle and his adherents only when he considers their premises arbitrary or untenable, and he does not rebuke his opponents for the mere fact of using deductive methods. In the first dialogue, he emphasizes in several passages that according to Aristotle, too, even the most plausible deduction must be put aside if it is incompatible with empirical findings. And on the other hand, Galileo himself makes considerable use of logical deduction. His endeavors are not so much directed at "factual knowledge" as at "comprehension." But to comprehend is essentially to draw conclusions from an already accepted logical system.

ALBERT EINSTEIN

Authorized translation by Sonja Bargmann.

xx werden müsse, wenn sie mit empirischen Befunden unvereinbar ist. Andererseits spielt auch bei Galileo die logische Deduktion eine wichtige Rolle; seine Bemühungen sind weniger auf das „Wissen“ als auf das „Begreifen“ gerichtet. Begreifen aber ist nichts anderes als aus einem bereits akzeptierten logischen Systeme zu folgern.

ALBERT EINSTEIN

Princeton, Juli 1952

THE TRANSLATOR'S PREFACE

GALILEO'S *Dialogue* ranks high among the classics of science, and is deservedly even more famous as a chapter in the struggle for freedom of thought. It was not Galileo's greatest contribution to the body of scientific knowledge, and yet in a sense it was his most significant service to science itself, for it effectively made clear to scientists and nonscientists alike the claims of experiment and observation as against those of authority and tradition. As Professor Einstein has remarked, this would have been done anyway, even if Galileo had not accomplished it, and might perhaps have been not much longer delayed if he had never lived. Yet the fact remains that this is the book which historically did the most toward breaking down the religious and academic barriers against free scientific thought. Moreover, unlike most scientific classics, it is a book which was capable of interesting the layman and which still is today. Despite all this, the *Dialogue* has remained practically unavailable to the English reader for nearly three centuries. It is now some two decades since I first noticed this extraordinary breach in our literature of the history and philosophy of science, and more than a decade since I commenced the task of repairing it.

The story of Galileo and of this book has been told frequently and well. Born at Pisa in 1564, of noble but impoverished parents, Galileo received his childhood instruction from a talented father who, besides being well versed in mathematics, was a very accomplished musician and the author of a *Dialogue on Ancient and Modern Music*. From him Galileo learned to play the organ