

## KRITISCHE ANALYSE DER QUANTENPHYSIK IN TÜRKISCHEN SCHULBÜCHERN

### KUANTUM FİZİĞİNİN TÜRKÇE OKUL KİTAPLARINDAKİ KRİTİK ANALİZİ

Ahmet İlhan ŞEN\* ve Hartmut WIESNER\*\*

**ABSTRACT:** One of the general aims of the secondary school physics courses is to ensure that students learn the basic concepts and expressions which are necessary to understand wide application areas of physics in their learning process. However, there is a need for a curriculum which includes these concepts and expressions and their relations among them and textbooks and materials which supports this kind of curriculum for a successful. In this study, senior high school Physics textbook by Ministry of Education which is used in most of the secondary schools in Turkey is analyzed for its scientific content and comprehensibility. According to the evidence, there are deficiencies in its scientific content and wrong relations among concepts and associations in this textbook. Moreover, it is observed that expressions are insufficient in expressing the topics.

**KEYWORDS:** Turkish textbooks, Quantum Physics course, Modern Physics

**ÖZET:** Ortaöğretim fizik derslerinin genel hedeflerinden birisi; öğrencilerin öğrenimleri boyunca, fiziğin geniş uygulama alanlarını anlayabilmeleri için gerekli olan temel kavram ve ifadeleri öğrenmelerini sağlamaktır.

Ancak başarılı bir eğitim için öncelikle, bu kavram ve ifadelerin arasındaki ilişkileri anlaşılır şekilde kapsayan içerikli bir program ve bunu destekleyen ders kitap ve materyallerine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, Türkiye’de ortaöğretim kurumlarının genelinde okutulan Milli Eğitim Bakanlığı ders kitaplarından Lise 3 fizik kitabı, bilimsel içerik ve anlaşılabilirlik açısından incelenmiştir.

Elde edilen bulgulardan, söz konusu kitapta gerek bilimsel bakımdan eksik kavramların, gerekse hatalı ilişki ve benzetmelerin olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca konuları aktarmada ifadelerin yeterince açık olmadığı görülmüştür.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Türkçe Ders Kitapları, Kuantum Fiziği Dersleri, Modern Fizik.

#### 1. EINLEITUNG

Zweifellos enthält die Quantenphysik besondere begriffliche bzw. formale Schwierigkeiten und ungewohnte Vorstellungen. Soll man trotzdem die Quantenphysik in der Schule behandeln?

Diese Frage wurde nicht immer mit "Ja" beantwortet. In Deutschland ist ein Quantenphysikunterricht, der diesen Namen verdient, erst um 1950 eingeführt worden (Hahn, 1949; Höfling, 1950). In der Türkei erfolgte dies als „Moderne Wissenschaft“ noch später: Erst seit Ende der 60er Jahre setzen sich die Schülerinnen und Schüler an Gymnasien im Unterricht mit moderner Physik im letzten Schuljahr auseinander. Was soll diese "moderne" Physik den Schülerinnen und Schülern in der Türkei vermitteln? In der offiziellen Zeitschrift des türkischen Erziehungsministeriums (Tebliğler Dergisi, 1992) (Übers. A.İ.Şen) lauten die allgemeinen Ziele des Physikunterrichts folgendermaßen:

"1. Im Physikunterricht sollen den Schülerinnen und Schülern die grundlegenden Kenntnisse bzw. Begriffe gelehrt werden, mit denen sie die verbreiteten Anwendungen der Physik besser verstehen können.

2. Die Schülerinnen und Schüler sollen darauf vorbereitet werden, die wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden zu begreifen und ein positives (wissenschaftliches) Verständnis zu erwerben, indem man ihnen im

\* Dr., Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanlar Bölümü Fizik Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara [ailhan@hacettepe.edu.tr](mailto:ailhan@hacettepe.edu.tr)

\*\* Prof. Dr. Dr., Universität München, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Schellingstraße 4, D-80799 München-Deutschland

Unterricht Möglichkeiten gibt, physikalische Vorgänge selbst zu untersuchen bzw. selbst Versuche durchzuführen.

3. Schülerinnen und Schüler sollen im Physikunterricht genügend Vorkenntnisse für die spätere Ausbildung erwerben." (S. 314)

Der Unterricht über Quantenphysik (als wesentlicher Teil der modernen Physik) soll in besonderem Maße ein "neues" Verständnis des physikalischen Weltbildes vermitteln und neue Entwicklungen in der Wissenschaft bzw. in der Technik im Unterricht behandeln.

Eine erfolgreiche Vermittlung lässt sich unter anderem mit einem guten Lehrplan bzw. mit einem Lehrtext erreichen, durch den die fachlichen Zusammenhänge sehr gut verstanden werden können. In dieser Arbeit sollen die Darstellungen der Quantenphysik in den türkischen Schulen kritisch auf oben angesprochene Ziele, begriffliche Klarheit, Konsistenz, Verständlichkeit und fachlich zulässige Elementarisierung überprüft werden (siehe auch Sen, 2000; Sen, Müller, & Wiesner 1998).

Zur Zeit enthalten die Physiklehrpläne für die gymnasiale Stufe (im letzten Schuljahr) in der Türkei ein Kapitel zur Quantenphysik. Typisch für das Vorgehen ist die Konzentration auf das Photonenkonzept. Man geht deshalb auf den Photoeffekt ziemlich ausführlich ein, dagegen begnügt man sich bei den Welleneigenschaften von Elektronen mit wenigen Worten.

Wenn man die Bücher in der Türkei mit den in Deutschland benutzten Büchern vergleicht, stellt man fest, dass die Themen und ihre Anordnung in den türkischen Schulbüchern etwa den in Deutschland zwischen 1945 und 1970 erschienenen Büchern entsprechen.

Die typische Themenreihe, die mit kleinen Variationen in allen Schulbüchern in der Türkei zu finden ist, ist die folgende:

Am Anfang unterrichtet man den Fotoeffekt als Zugang zu den quantenmechanischen Phänomenen, nachdem man das Wellenmodell

des Lichtes diskutiert hat. Die Betonung liegt dabei auf dem Teilchencharakter des Lichtes. In Anlehnung an Einstein erklärt man Licht als aus Teilchen zusammengesetzt, die als Photonen bezeichnet werden. Als weiteres Beispiel für den Teilchencharakter des Lichtes wird der Compton-Effekt qualitativ besprochen. Bei der Verknüpfung der Wellen- bzw. Teilchenmodelle kommt man zu dem Schluss, dass sich das Licht entweder wie Teilchen oder wie eine Welle verhält. Dann bezeichnet man unter Bezug auf de Broglie die Wellen, die die Teilchen begleiten, als "Materiewellen oder de Broglie-Wellen".

Im zweiten Abschnitt werden zunächst die elektromagnetischen Wellen erklärt, und zwar elektromagnetische Strahlung, elektromagnetisches Spektrum und schließlich die Röntgenstrahlung. Dann kommen in historischer Reihenfolge die Atomtheorien von Thomson und Rutherford. Den Franck-Hertz-Versuch erläutert man, um die Quantisierung von Energien einzuführen. Dabei zieht man den Schluss, dass Atome bestimmte "innere Energien" haben. Das von Atomen ausgesandte Licht kommt demnach dadurch zustande, dass ein Elektron von einem bestimmten Energieniveau zu einem niedrigeren Energieniveau gelangt. Anhand dieser Energieniveaus diskutiert man nun das Bohrsche Atommodell im Detail. Mit dessen Hilfe erklärt man das Spektrum des Wasserstoffatoms.

Mit diesen Vorkenntnissen behandelt man die spontane- und stimulierte Emission beim Laser. Schließlich werden die Elektronenschalen nach der "modernen" Atomtheorie erläutert. Danach gibt es um den Kern nur "Elektronenwolken" statt Elektronenbahnen. Diese "Wolken" bezeichnet man als Orbitale. Dann werden die Haupt-, Neben-, Spinquantenzahlen und die magnetische Quantenzahl eingeführt und mit diesen Quantenzahlen die Konfigurationen von Atomen mit vielen Elektronen beschrieben.

In einem dritten Abschnitt beschreibt man

die Bewegung von geladenen Teilchen im elektrischen Feld: Elektronen, Protonen, die auf geladene Teilchen wirkende Kraft, die Beschleunigung, Geschwindigkeit und die Bahn, den relativistischen Massenbegriff, die Funktionsweise des Oszilloskops und schließlich die  $e/m$ -Bestimmung.

Im folgenden soll nun auf ein Physikschulbuch eingegangen werden, das im Auftrag des Erziehungsministeriums verfaßt wurde und nach dem in den meisten Schulen unterrichtet wird (Özmen et al., 1996).

## 2. Analyse der einzelnen Themen

### i) Das Bohrsche Atommodell

Sauer beschäftigt sich ausführlich mit den Darstellungen des Bohrschen Atommodells in den verschiedenen deutschsprachigen Schulbüchern. Dort werden mögliche didaktische Leistungen formuliert und kritisch betrachtet: "Die didaktische Leistungsfähigkeit des Bohrschen Atommodells, sofern dieses als das Planetenmodell aus dem Jahr 1913 verstanden wird, ist kaum größer als der wissenschaftliche Wert einzuschätzen ist. Die graphische Darstellung von entsprechenden Kreisbahnen oder gar die Darstellung des Übergangs in einem solchen Bild enthält nicht mehr Information als das Niveauschema; sondern legt nur überflüssigerweise eine irreführende Vorstellung nahe." (Sauer, 1978: 88)

Dies ist besonders beim Bahndrehimpuls von großer Bedeutung, weshalb das Bohrsche Atommodell in Wirklichkeit auch nicht mehr in der Lage ist, die quantenmechanischen Phänomene zu erklären. Beispielsweise ist der kleinste Drehimpuls im Bohrschen Atommodell  $L = h/2\pi$ . Dies ist aber nicht korrekt, da der Drehimpuls im Grundzustand Null ist.

Sauer weist dann darauf hin, dass der Drehimpuls eine **Messgröße** ist. Es führt kein Weg daran vorbei, dass die Modelle mit Kreis- oder Ellipsenbahnen für diese Messgröße nicht die richtigen Werte vorhersagen (S. 89).

Das Bohrsche Atommodell ist nur dann ein gutes Erklärungsmodell für die Gesetze der Spektrallinien, wenn man es für sich allein betrachtet. Die Gefahr liegt aber darin, dass Schülerinnen und Schüler dem Elektron im H-Atom **eine Bahn** zuschreiben könnten.

Durch die im Schulbuch sehr ausführlich dargestellte Herleitung der Energieniveaus und der Bahnradien könnten die Schülerinnen und Schüler diesem mathematischen Formalismus zu viel Bedeutung zumessen und ihn eventuell als Grundprinzip der Quantentheorie mißverstehen. "Schüler, die mit dem Bohrschen Modell ein äußerst attraktives Instrument zum vorläufigen Verständnis atomarer Vorgänge und zur Berechnung von Lichtfrequenzen erhalten, werden kaum geneigt sein, sich davon zu lösen, wenn am Schluss des Lehrgangs auf die Begrenztheit dieses Modells hingewiesen wird." (Fischler, 1992: 13)

Das Bohrsche Atommodell sollte deshalb nur in einem Kapitel z.B. "Atommodelle der klassischen Physik" oder "die historische Entwicklung der Atommodelle" mit seiner historischen Bedeutung besprochen werden.

### ii) Fotoeffekt, Photonen

"Erst de Broglie und dann Schrödinger haben die Teilchen- und Wellenmodelle vereint und die Wellenmechanik geschaffen.

De Broglie meinte, dass jedes Photon die Energie  $E=h\nu$  und den Impuls  $p=E/c = h/\lambda$  hat. Licht breitet sich wie sehr kleine Teilchen, sogenannte Photonen aus. Sie besitzen Energie und Impuls. Wellen begleiten Photonen während ihrer Bewegung. Ihre Wellenlänge heißt de Broglie Wellenlänge:

$$\lambda = h/p." \text{ (Özmen et al., 1996: 76).}$$

Diese Formel wurde von de Broglie im wesentlichen für **Materie** aufgestellt. Sie sagt aus, dass Materie auch Welleneigenschaften besitzt.

Völlig unklar bleibt, wie sich der Zusammenhang zwischen Teilchen (Photonen)

und der "begleitenden Welle" darstellt. Ist hier an de Broglies Führungswellentheorie gedacht?

Unter Photonen versteht man hier ganz offensichtlich Teilchen, an die wir uns im täglichen Leben gewöhnt haben, wie z.B. ein Ball.

Sicher ist aber, dass ein Photon kein "Ball" ist; es hat nur einige wenige Eigenschaften mit einem solchen gemeinsam: Nur die Gesetze von der Erhaltung von Energie und Impuls haben die Wechselwirkung von Photonen mit Elektronen und der Zusammenstoß von Bällen gemeinsam.

Photonen gehorchen der relativistischen Quantenfeldtheorie. Sie haben also besondere Eigenschaften. In der speziellen Relativitätstheorie leitet man z.B. für Teilchen der Ruheenergie  $E_0 = m_0 c^2$  die folgende Beziehung her:

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4$$

Wenn man in diese Gleichung die Terme der Energie E und des Impulses p eines Photons einsetzt, so ergibt sich

$$m_0^2 c^4 = 0$$

Demnach ist die Ruhemasse  $m_0$  eines Photons gleich null.

Photonen können in beliebiger Zahl erzeugt und vernichtet (absorbiert) werden. Sie treten **nur** bei den Emissions- und Absorptionsakten sowie bei Wechselwirkungsakten (Stößen) mit geladenen Teilchen, mit denen sie Energie- und Impulsbeiträge austauschen können, physikalisch in Erscheinung (Gabriel & Garber, 1981: 189-191).

"Wenn Photonen auf Materie treffen, wirken sie auf diese Materie. Die Wellen, die Photonen begleiten, zeigen Interferenz und Beugung.

Louis de Broglie hat auch gezeigt, dass die Gleichung  $\lambda = h / p$  für alle Teilchen gilt. Demnach begleitet eine Welle der Wellenlänge  $\lambda = h / (mv)$  ein Teilchen mit der Masse m und der Geschwindigkeit v. Diese Wellen nennt man "de Broglie-Wellen oder Materiewellen". Im allgemeinen wird jedes Teilchen (Photon, Elektron, Neutron, etc.) von einer Welle begleitet." (Özmen et al., 1996: 77)

Völlig unklar bleibt, wie sich der Zusammenhang zwischen Teilchen (Photonen) und der "begleitenden Welle" bzw. Materiewellen darstellt (Diese Feststellung wurde bei Interviews mit Lehramtsstudent(inn)en bestätigt, siehe Sen 2000). Ist hier an de Broglie Führungswellentheorie gedacht?

Einige Schülerinnen und Schüler (und auch Lehramtsstudenten) verbinden, mit „begleiten“ folgende Vorstellung: Zum Beispiel Welle und Teilchen als gleichzeitig getrennt voneinander vorhandene Objekte. Nach dieser Vorstellung kann das Licht, das zunächst durch eine Glasscheibe gegangen ist, keine Teilcheneigenschaften (z.B. Compton-Effekt) mehr zeigen, da die "Lichtteilchen" an der Glasoberfläche reflektiert werden, während die "begleitende Welle" in dieses eindringen kann.

Sie könnten sich Materiewellen als "Materieteilchen" vorstellen, die sich wellenförmig fortbewegen, wobei ihnen auf ihren Wegen durch den Raum Führungswellen zur Verfügung stehen, deren Funktion man sich leicht veranschaulichen kann: Die Teilchen durchlaufen Berge und Täler, und ihre Wegweisung an Hindernissen wird durch die Beugung und Interferenz der Führungswellen bestimmt. Aber diese Vorstellung führt schon beim Doppelspaltversuch zu Schwierigkeiten. Ein Elektron müßte sich hier von einem Teil seiner Führungswelle trennen.

Bewusst versucht man mit den am Anfang des Buches behandelten Analogien und zwar mit Feder- und Wasserwellen die "moderne Physik" (Quantenphysik und Atomphysik) zu veranschaulichen. Das hat aber meiner Ansicht nach zur Folge, dass die Schülerinnen und Schüler unter einem "mikroskopischen Teilchen" eine beliebig verkleinerte Kugel oder eine Welle ("Materiewelle") verstehen.

Um Verständnisschwierigkeiten zu vermeiden, sollte man statt "Materiewelle" "**Wahrscheinlichkeitswelle**" benutzen, die bestimmt, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich ein Elektron an einem bestimmten Ort befindet.

In allen türkischen Schulbüchern werden quantenphysikalische Phänomene zunächst an Licht und dann (zu kurz) an Elektronen aufgezeigt. In der deutschsprachigen Fachdidaktikliteratur gibt es schon lange eine Diskussion, womit man in die Quantenphysik einsteigen sollte: Mit Photonen oder mit Elektronen? (Simonson, 1980; Gabriel & Garber, 1981; Simonson, 1981; Fischler, 1992).

Ein Grund für den Einstieg mit Elektronen ist, dass quantenmechanische Aussagen, die für Elektronen allgemein gelten, für Photonen nur eingeschränkt gültig sind. „So lassen sich Photonen nur lokalisieren, wenn sie annihiliert werden, und auch nur für diesen Fall gilt die Unbestimmtheitsrelation. Eine detaillierte raumzeitliche Beschreibung von Photonen mit Hilfe einer Wellenfunktion  $\psi(r,t)$  muss von vornherein vermieden werden, eine solche Beschreibung ist nach der relativistischen Quantentheorie nicht konsistent durchführbar. Die Photonen werden in einer Quelle erzeugt, können mit der übrigen Materie Energie und Impuls austauschen und werden schließlich in einem Wechselwirkungsprozess mit der Materie wieder vernichtet, d.h. absorbiert. Nur bei diesen Akten treten die Photonen überhaupt in Erscheinung. Die statistische Deutung kann bei diesen Akten einfach und anschaulich eingeführt werden, eine Zustandsfunktion kann dagegen für Photonen nicht erklärt werden. Die Einführung der Zustandsfunktion in Ortsdarstellung muss im Zusammenhang mit der Quantenphysik der Elektronen erfolgen.“ (Gabriel & Garber, 1981: 190)

In der fachdidaktischen Literatur oder in Schulbüchern (z.B. Dorn & Bader, 1977) wird es oft als Vorteil angesehen, dass die Wahrscheinlichkeitsdichte der Photonen eine klassische Bezugsgröße besitzt: „Bei Photonen fanden wir (...), dass die Wahrscheinlichkeitsdichte (...) proportional dem Amplitudenquadrat der schon klassisch bekannten Feldstärke (...) ist. Bei Elektronen fehlt eine entsprechende klassische Größe; wir müssen deshalb ein solches Amplitudenquadrat

erst definieren und setzen es der Einfachheit halber gleich der bei vielen Einzelprozessen messbaren Wahrscheinlichkeitsdichte (...). Damit bleibt die de-Broglie-Welle bei den Elektronen ein quantenmechanischer Begriff ohne unmittelbaren klassischen Bezug“. Gabriel & Garber sehen gerade dies als Vorteil an: „Gewiß, es gibt für die Wahrscheinlichkeitsdichte bei Elektronen keine klassische Bezugsgröße, aus der diese Dichte aufgebaut wäre. Um so besser, dann gibt es auch keine Gefahr, diese Dichte mit klassischen Bezugsgrößen zu verwechseln. Gelegenheiten für Mißverständnisse gibt es genug. Bei Photonen gibt es also eine klassische Bezugsgröße für die Amplitude der Wahrscheinlichkeitswelle. Demnach wäre die Notwendigkeit für Wahrscheinlichkeitsaussagen in der Quantenphysik also klassischen Ursprungs, hätte die gleichen Gründe wie in der kinetischen Gastheorie? Oder noch schlimmer: Demnach lassen sich quantenmechanische Phänomene mit einer klassischen Welle deuten?“ (Gabriel & Garber, 1981: 191)

Bei dem „Berliner“ Konzept (siehe Sen, 2000) wird die Entscheidung, mit Elektronen in den Quantenphysikunterricht zu beginnen, so begründet: „Die Neigung der Schüler, Photonen mit der Teilchen-Vorstellung zu verbinden, ein Modell der klassischen Physik also in die Mikrowelt mit hinüberzuretten, ist größer als die Bereitschaft, Elektronen mit der Wellen-Vorstellung zu verknüpfen.“ (Fischler, 1992: 100)

Außerdem spricht für die Einführung in die Quantenphysik über die Welleneigenschaften des Elektrons (oder Protons bzw. Atoms), dass bei Schülerinnen und Schülern durch diese Erschütterung ihres Weltbildes eine größere Aufmerksamkeit und eine stärkere Beteiligung am Unterricht und demzufolge auch eine stärkere Auseinandersetzung mit dem gelernten Stoff erreicht wird als bei dem traditionellen Zugang in der Türkei über Photonen.

### iii) Energieniveaus

“Die Frequenz des vom Atom ausgesandten Lichts hängt von der Umlauffrequenz des Elektrons um den Kern ab. Wenn sich ein Elektron auf einer engeren Bahn bewegt, dann sendet es Licht mit größerer Frequenz aus. In einer Lichtquelle gibt es viele Atome, die meistens gleichzeitig Licht abstrahlen. Demzufolge erwartet man ein Spektrum mit allen möglichen Frequenzen. Aber man hat bei Untersuchungen des Wasserstoffatomspektrums, indem man das Wasserstoffatomgas durch elektrische Spannung anregt, festgestellt, dass es nur bestimmte scharfe Linien, d.h. nur bestimmte Frequenzen oder Wellenlängen, gibt. Diese scharfen Frequenzen zeigen, dass die ausgesandte Strahlung nur diskrete Energien besitzt .

Aus diesen diskreten Frequenzen zieht man den Schluss, dass die Strahlung nur diskrete bzw. bestimmte Energiewerte haben kann und sich die Elektronen daher nur auf Bahnen mit bestimmtem Abstand vom Kern bewegen können. Sonst gäbe es viele Frequenzen des Lichtes. Also ändert sich die innere Energie eines Atoms nur durch bestimmte aufgenommene oder abgegebene Energieportionen.” (Özmen et al., 1996: 94-95)

Nach diesem Modell dürfen sich die Elektronen nur auf bestimmten Bahnen um den Kern bewegen. Dabei strahlen sie Licht aus, dessen Frequenz der **Umlauffrequenz** des Elektrons entspricht, im Widerspruch auch zum Bohrschen Atommodell. Es ist nicht klar, wie das vom Atom ausgesandte Licht zustande kommt. Dieses Modell widerspricht der Erfahrung, dass ein Atom **im Grundzustand** nicht abstrahlt. Nach dem Bohrschen Atommodell sind Wellenlänge bzw. Frequenz des abgestrahlten Lichtes mit Bahnsprüngen verknüpft. Da die Elektronen in dem hier besprochenen Modell immer Licht aussenden müssen, ist es nicht verständlich, wie sie mit dem immer größer werdenden Energieverlust auf ihrer Bahn bleiben können. Weiterhin lässt sich hiermit keine Absorption erklären, da auf

die Möglichkeit eines Bahnwechsels nicht explizit eingegangen wird.

Besonders problematisch ist, dass bei dieser Argumentation mit der Vorstellung der klassischen Bahn gearbeitet wird.

Außerdem ist der Begriff ”innere Energie” missverständlich und gehört zur Thermodynamik bzw. zur statistischen Mechanik.

#### iv) Laser

Dieser hier dargestellte Prozess ist physikalisch nicht korrekt. In einem Laser werden drei verschiedene Energieniveaus ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ) verwendet. Durch Anregung werden die Elektronen in den Zustand  $E_3$  gebracht, von dem sie durch Aussenden eines Photons schnell in den Zustand  $E_2$  (einen sogenannten metastabilen Zustand) übergehen. Dieser Zustand  $E_2$  besitzt eine lange Lebensdauer, so dass sich viele Atome des Gases zur gleichen Zeit in diesem Zustand befinden. Durch einfallende Photonen der Energie  $E_2-E_1$  werden diese Atome zur stimulierten Emission angeregt und senden damit ebenfalls ein solches Photon aus.

### 3. SCHLUSS

Eine Bestandsaufnahme der Realität des Quantenphysikunterrichts in der Türkei durch ausführliche Unterrichtsbeobachtungen und Leistungstests ist bisher noch nicht erfolgt.

Aber da sich fast alle Lehrkräfte eng an die Schulbuchtexte halten, gibt eine ausführliche kritische Analyse der Physikschulbücher einen guten Einblick in die Art des türkischen Quantenphysik-Unterrichts und auch in typische Schwächen des bisherigen Unterrichtsangebots. Diese Analysen ergaben:

- Die bisher verwendeten Schulbücher und der aktuelle Lehrplan sind veraltet und bieten kein „modernes“ Verständnis der Physik an.
- Sie enthalten zahlreiche Unanschaulichkeiten und physikalische

Unzulänglichkeiten, die das Verständnis erheblich erschweren.

- Weiterhin sollten notwendige ausführliche Ergänzungen in dem bisherigen Lehrgang gemacht werden (z.B. der Doppelspaltversuch zum besserem Verständnis des Wellencharakters von Elektronen).
- Die durch die fachdidaktische Forschung inzwischen vorliegenden Kenntnisse über Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler werden im Lehrplan nicht berücksichtigt.

## LITERATUR

- Dorn F. & Bader B. (1977). Physik Oberstufe A. Hannover: H. Schroedel.
- Fischler, H. (1992). Ohne Bohr, Dualismus und Materiewellen. PdN-Ph, 3, 13-14.
- Fischler, H. (1992). Quantenphysik in der Schule: Anschaulich oder richtig? Physik in der Schule, 30, 98-102.
- Gabriel, A., & Garber, W.D. (1981). Einführung in die Quantenphysik: Mit Photonen oder mit Elektronen? Physik und Didaktik, 3, 189-201.
- Hahn, K. (1949). Lehrbuch der Physik Teil II Oberstufe. Braunschweig/Berlin/Hamburg.
- Höfling, O. (1950). Modellvorstellungen im physikalischen Unterricht. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 3, 303-307.
- Özmen, A., Tanrikulu, I., Özdemir, B., Aydemir, I., Kaya, F., Gürel, I., & Dunay, R. (1996). Fizik III. Ankara: Devlet Kitapları.
- Sauer, G. (1978). Didaktische Aspekte der Bohrschen Atomtheorie. Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 31, 87-94.
- Sen, A.I. (2000). Moderne Physik in den türkischen Schulen. München: Herbert Utz Verlag.
- Sen, A.I., Müller, R., & Wiesner, H. (1998). Das Schulsystem und der Quantenphysikunterricht in der Türkei. Zur Didaktik der Physik und Chemie, Essen, 313-315.
- Simonson, G. (1980). Der Photoeffekt im einführenden Unterricht. Physica didactica 7, 3-15.
- Simonson, G. (1981). Probleme mit Photon im Physikunterricht. Praxis der Naturwissenschaft, 30, 257-266.
- Tebliğler Dergisi (1992). Milli Eğitim Bakanlığı yayımlar Dairesi Başkanlığı. Sayı 2359, 314.