

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTAÖĞRETİM FEN VE MATEMATİK ALANLAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
FİZİK ÖĞRETMENLİĞİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KUANTUM FİZİĞİNDE BELİRSİZLİK İLKESİ: HİBRİT
YAKLAŞIMLA ÖĞRETİMİN AKADEMİK
BAŞARIYA ETKİSİ**

Erdoğan ÖZDEMİR

İzmir

2008

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTAÖĞRETİM FEN VE MATEMATİK ALANLAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
FİZİK ÖĞRETMENLİĞİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KUANTUM FİZİĞİNDE BELİRSİZLİK İLKESİ: HİBRİT
YAKLAŞIMLA ÖĞRETİMİN AKADEMİK
BAŞARIYA ETKİSİ**

Erdoğan ÖZDEMİR

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa EROL**

**İzmir
2008**

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Kuantum Fiziğinde Belirsizlik İlkesi: Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Akademik Başarıya Etkisi” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

26/06/2008

Erdoğan Özdemir

Erdoğan ÖZDEMİR

Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

İşbu çalışma, jürimiz tarafından... *Ortaöğretim Fen ve Matematik*
Alanlar Eğitimi..... Anabilim Dalı
Fizik Öğretmenliği..... Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: *Prof. Dr. Mustafa ERAL*.....

Üye: *Prof. Dr. Merve KAVCAR*.....

Üye: *Prof. Dr. Ömer ERGİN*.....

Onay

Yukarıda imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

26./06./2008

Prof. Dr. Sedef GİDENER
Enstitü Müdürü

YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU DÖKÜMANTASYON MERKEZİ

TEZ VERİ FORMU

Tez No :

Konu Kodu :

Üniv. Kodu :

Tezin Yazarının

Soyadı : ÖZDEMİR

Adı : Erdoğan

Tezin Türkçe Adı: Kuantum Fiziğinde Belirsizlik İlkesi: Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Akademik Başarıya Etkisi

Tezin Yabancı Dildeki Adı: Uncertainty Principle of Quantum Physics: Effects of Hybrid Teaching on Academic Achievement

Tezin Yapıldığı

Üniversite: Dokuz Eylül Üniversitesi **Enstitü:** Eğitim Bilimleri Enstitüsü **Yıl:** 2008

Tezin türü:

1- Yüksek Lisans (X)

Dili: Türkçe

2- Doktora

Sayfa sayısı: 189

3- Sanatta Yeterlilik

Referans sayısı: 79

Tez Danışmanının

Unvanı: Prof. Dr.

Adı: Mustafa

Soyadı: EROL

Türkçe Anahtar Kelimeler:

1-Fizik Eğitimi

2-Kuantum Fiziği

3- Hibrit Method

4- Akademik Başarı

5- Hatırda Tutma

6- Öğrenme Güçlüğü

İngilizce Anahtar Kelimeler:

1- Physics Education

2- Quantum Physics

3- Hybrid Method

4- Academic Achievement

5- Retention

6-Learning Difficulties

Tezinden dipnot gösterilmek şartıyla bir bölümünün fotokopisi alınabilir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin oluşturulduğu iki yıllık süreç boyunca sınırlı olanaklarına rağmen sınırsız desteklerinden dolayı, çocukları olmaktan her zaman gurur duyduğum babam Cahit ÖZDEMİR ve annem Bengi ÖZDEMİR'le birlikte ailemin tüm bireyelerine teşekkür ediyorum.

İzmir'de benim gibi yüksek lisans çalışmalarını yürüten, süreç içerisindeki irili, ufaklı birçok sıkıntıyı birlikte aştığımız değerli arkadaşlarım Serkan BÜYÜKKÖSE ve Yalçın YALÇIN'la birlikte ev arkadaşım Halil ARI'ya teşekkür ediyorum.

Araştırma süreci boyunca takıldığım her noktada yardımını hiçbir zaman esirgemeyen, yönlendirmeleriyle araştırmaya önemli katkıları olan, hocam Dr. Serap ÇALIŞKAN'a, özellikle tezin uygulama aşamasındaki yardımlarından dolayı, deneyim ve bilgisinden sürekli yararlandığım Esra BİLAL'e ve deney ve kontrol grubunda yer alan Fizik III. Sınıf öğrencilerine araştırmaya olan katkılarından dolayı çok teşekkür ediyorum.

Tezin uygulama kısmında kullandığım materyaller ile ölçme araçlarını inceleyerek gerekli düzeltmelerde ve önerilerde bulunan değerli hocam Prof. Dr. Nevzat KAVCAR'a çok teşekkür ediyorum.

Son olarak, araştırmanın her aşamasında emeği olan, etkili yönlendirmeleriyle tezin niteliğini arttıran danışmanım Prof. Dr. Mustafa EROL'a bana duyduğu güvenden, gösterdiği derin ilgiden ve değerli katkılarından dolayı sonsuz teşekkürler.

Erdoğan ÖZDEMİR 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ	1
1.1. Problem Durumu	1
1.1.1. Kuantum Fiziğinin Fizik Bilimindeki Yeri ve Önemi	1
1.1.2. Kuantum Fiziğinin Yapısı	2
1.1.2.1. Kuantum Fiziği Dalga Kuramı	2
1.1.2.2. Kuantum Fiziği Kopenhag Yorumu	4
1.1.2.3. Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Yorumu	4
1.1.2.4. Dalga Fonksiyonunun Çöküşü	5
1.1.2.5. Kuantum Fiziği Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi	6
1.1.3. Klasik Sistemler ile Kuantum Fiziksel Sistemler Arasındaki Farklılıklar	8
1.1.3.1. Üst Üste Binme(Süperpozisyon) İlkesi	9
1.1.3.2. Klasik Fizik ve Kuantum Fiziğinde Ölçme	9
1.1.3.2.1. Klasik Sistemlerde Ölçme	9
1.1.3.2.2. Kuantum Fiziksel Sistemlerde Ölçme	10
1.1.3.3. Kuantum Fiziğinde Belirsizlik	12
1.1.4. Kuantum Fiziği Öğretimine Yönelik Olarak Yapılan Çalışmalar	12
1.1.4.1. Kuantum Fiziği Öğretimini Güçleştiren Etkenler ve Öneriler	13
1.1.4.2. Kuantum Fiziğinin Temel Kavramları ve Bu Kavramlarla İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar	15
1.1.4.2.1. Klasik Fizik Kavramları İle Kuantum Fiziği Kavramlarının Açıklanmasından Doğan Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar	15

1.1.4.2.2. Kuantum Fiziği Olasılık Dalgaları ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar	16
1.1.4.2.3. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar	17
1.2. Amaç ve Önem	18
1.2.1. Amaç	18
1.2.2. Önem	23
1.3. Problem Cümlesi	24
1.4. Alt Problemler	24
1.5. Denenceler	25
1.6. Sayıtlar	26
1.7. Sınırlılıklar	28
1.7. Tanımlar	29
1.8. Kısaltmalar	30

BÖLÜM 2

2. İLGİLİ YAYIN VE ARAŞTIRMALAR	31
2.1. Kuantum Fiziği Temel Kavramları İle İlgili Araştırmalar	31
2.2 Kuantum Fiziği Öğretimi İle İlgili Araştırmalar	35
2.3 Fizik Eğitiminde Kullanılan Farklı Öğretim Yöntemleri	42

BÖLÜM 3

3. YÖNTEM	46
3.1. Araştırma Modeli	46
3.2. Denekler	46
3.3. Veri Toplama Araçları	47
3.3.1. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme formu (DPBİGF)	47
3.3.2. Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı (BİKS)	50
3.3.3. Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği (KSDÖ)	50
3.4. Deney Deseni	52
3.5. İşlem Yolu	53
3.6. Denel İşlemler	55

3.6.1. Deney Grubuna Gerçekleştirilen İşlemler	56
3.6.2. Kontrol Grubuna Gerçekleştirilen İşlemler	58
3.7. Öğrenme Malzemeleri	60
3.8. Veri Çözümleme Teknikleri	60

BÖLÜM 4

4. BULGULAR VE YORUMLAR	61
4.1. Kuantum Fiziği Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi İle İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları	61
4.2. Hibrit Yaklaşımın Öğrencilerin Akademik Başarısı Üzerindeki Etkileri	63
4.3. Hibrit Yaklaşımın Öğrencilerin Hatırda Tutmalarına Etkileri.	65
4.4. Deney ve Kontrol Gruplarının Açık Uçlu Sorulara Verdikleri Yanıtların Değerlendirilmesi	66
4.4.1. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)'nin Birinci Sorusuna Verilen Yanıtlar	67
4.4.2. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)'nin İkinci Sorusuna Verilen Yanıtlar	70
4.4.3. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)'nin Üçüncü Sorusuna Verilen Yanıtlar	70
4.4.4. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)'nin Dördüncü Sorusuna Verilen Yanıtlar	72
4.4.5. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)'nin Beşinci Sorusuna Verilen Yanıtlar	74
4.4.6. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu DPBİGF)'nin Altıncı Sorusuna Verilen Yanıtlar	77
4.4.7. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)'nin Yedinci Sorusuna Verilen Yanıtlar	78
4.4.8. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)'nin Sekizinci Sorusuna Verilen Yanıtlar	81

BÖLÜM5

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	83
5.1. Sonuçlar ve Tartışma	83
5.1.1. Hibrit Yaklaşım İle Geleneksel Öğretimin Akademik Başarı ve Hatırda Tutmaya Olan Etkileri	83
5.1.1.1. Kontrol Grubu İle Deney Grubundaki Öğrencilerin Uygulama Öncesinde Akademik Başarılarının Karşılaştırılması	84
5.1.1.2. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrencilerin Akademik Başarılarına Olan Etkisi	84
5.1.1.3. Geleneksel Öğretimin Öğrencilerin Akademik Başarılarına Olan Etkisi	84
5.1.1.4. Geleneksel Öğretim ile Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrencilerin Akademik Başarılarına Olan Etkilerinin Karşılaştırılması	85
5.1.2. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Hatırda Tutmaya Etkisi	85
5.1.2.1. Deney Grubu Öğrencilerinin Son Ölçüm Puanları ile Geciktirilmiş Ölçüm Puanlarının Karşılaştırılması	86
5.1.2.2. Kontrol Grubu Öğrencilerinin Son Ölçüm Puanları ile Geciktirilmiş Ölçüm Puanlarının Karşılaştırılması	86
5.1.2.3. Kontrol Grubu Öğrencileri ile Deney Grubu Öğrencilerinin Geciktirilmiş Ölçüm Puanlarının Karşılaştırılması	86
5.1.3. Belirsizlik İlkesi ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar	87
5.1.3.1. Uygulama Öncesinde Belirlenen Belirsizlik İlkesi İle İlgili Yanılgılar	87
5.1.3.1.1 Dalga Fonksiyonu ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları	87
5.1.3.1.2. Belirsizlik İlkesi İle İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar.	88
5.1.3.2. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrenme Güçlüğü ve Yanılgılara Olan Etkisi	91
5.1.3.2.1. Deney grubu öğrencilerinin Uygulama Öncesi Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları	91
5.1.3.2.2. Deney grubu öğrencilerinin Uygulama Sonrası Öğrenme	95

Güçlükleri ve Yanılgıları	
5.1.3.2.3. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrenme Güçlüklerinin ve Yanılgıların Giderilmesindeki Etkileri	97
5.1.3.3. Geleneksel Öğretimin Öğrenme Güçlüğü ve Yanılgılara Olan Etkisi	99
5.1.3.3.1. Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları	99
5.1.3.3.2. Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrası Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları	101
5.1.3.3.3. Geleneksel Öğretimin Öğrenme Güçlüklerinin ve Yanılgıların Giderilmesindeki Etkileri	103
5.1.4. Deney Grubu ile Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesindeki Yanıtlarının Karşılaştırılması	105
5.1.5. Deney Grubu ile Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrasındaki Yanıtlarının Karşılaştırılması	106
5.2. Öneriler	106
KAYNAKÇA	108
EKLER	116
EK-1. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu	116
EK-2. Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı	117
EK-3. İşlem Zaman Çizelgesi	123
EK-4. Ünitelere Ait Hedef-Hedef Davranışlar ve Belirtke Tabloları	124
EK-5. Ünitelerine Ait Ders İçeriği Metinleri	145
EK-6 Ünitelere Ait Çalışma Yaprakları	170
EK-7 Ünitelere Ait Ev Ödevi Problemleri	182

TABLO LİSTESİ		Sayfa
Tablo 3.1.	Deneklerin Cinsiyete Göre Dağılımları	47
Tablo 3.2.	Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği	52
Tablo 3.3.	Deney Deseni	53
Tablo 3.4.	Hibrit Yaklaşımına Göre Öğretim Yöntemlerinin Haftalık Ders Programlarındaki Payları	54
Tablo 3.5.	Uygulama Süresince Deney Grubunda İşlenen Üniteler Yapılan Etkinlikler ve Ders Süresine Göre Dağılımı	57
Tablo 3.6.	Uygulama Süresince Kontrol Grubunda İşlenen Üniteler Yapılan Etkinlikler ve Ders Süresine Göre Dağılımı	59
Tablo 4.1.	Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi İle İlgili Öğrenci Yanılgıları ve Öğrenme Güçlükleri	62
Tablo 4.2.	Deney ve Kontrol Gruplarının BİKS Ön ve Son Ölçümlere Göre Aritmetik Ortalama, Standart Sapma ve t-testi Sonuçları	64
Tablo 4.3.	Deney ve Kontrol Gruplarının BİKS Ön-Son Ölçümlerinin Karşılaştırılması	64
Tablo 4.4.	Deney ve Kontrol Gruplarının BİKS Son ve Geciktirilmiş Ölçümlere Göre Aritmetik Ortalama, Standart Sapma ve t-testi Sonuçları	65
Tablo 4.5.	Deney Grubu Son ve Geciktirilmiş Ölçümleri ile Kontrol Grubu Son ve Geciktirilmiş Ölçümleri t-testi Sonuçları	66
Tablo 4.6.	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Birinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	68
Tablo 4.7.	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Birinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	69
Tablo 4.8.	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Üçüncü Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	71

Tablo 4.9.	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Üçüncü Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	72
Tablo 4.10.	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Dördüncü Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	73
Tablo 4.11.	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Dördüncü Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	74
Tablo 4.12.	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Beşinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	75
Tablo 4.13.	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Beşinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	76
Tablo 4.14.	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Altıncı Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	77
Tablo 4.15.	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Altıncı Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	78
Tablo 4.16.	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Yedinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	79
Tablo 4.17.	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Yedinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	80
Tablo 4.18.	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Sekizinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımları	81
Tablo 4.19.	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Sekizinci Soruya Verdikleri Yanıtlar	82

ÖZET

Kuantum Fiziğinde Belirsizlik İlkesi: Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Akademik Başarıya Etkisi

Bu araştırmada birçok öğrenme tekniğini farklı oranlarda içeren hibrit öğretim yaklaşımının, öğrencilerin akademik başarısına, hatırd tutma düzeylerine ve Kuantum Fiziğindeki Belirsizlik İlkesi ile ilgili öğrenme güçlüklerine ve yanlışlarına olan etkileri araştırılmıştır.

Uygulanan hibrit öğretim yaklaşımı kapsamında, %44' akran öğretime, %26 grup ve sınıf tartışmasına, %26 grupla problem çözme etkinliklerine, %4 gösteri tekniğine ve son olarak problem çözme ve problem oluşturma etkinliklerinin yer aldığı ev ödevlerine yer verilmiştir.

Geliştirilen hibrit yaklaşım rasgele belirlenen ve deney grubu olarak adlandırılan gruplardan birisine uygulanmıştır. Kontrol grubu olarak isimlendirilen diğer gruba ise deney grubuyla eş zamanlı olarak içerisinde düz anlatım yöntemi ve problem çözme etkinliklerinin yer aldığı geleneksel öğretim uygulanmıştır.

Araştırmanın verileri “Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı”, ve “Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu” kullanılarak toplanmıştır.

Elde edilen veriler açık bir şekilde hibrit öğretim yaklaşımının geleneksel öğretim yöntemine kıyasla akademik başarıya ve kalıcılığa önemli oranda katkılarının olduğunu göstermiştir. Ayrıca yapılandırılmış görüşme çıktıları, hibrit öğretim yaklaşımının “Belirsizlik İlkesi” ile ilişkili öğrenme güçlüğü ve yanlışlarını ciddi oranda azalttığını ortaya koymuştur.

Erdoğan ÖZDEMİR, 2008

ABSTRACT

Uncertainty Principle of Quantum Physics: Effects of Hybrid Teaching on Academic Achievement

This research investigates effects of hybrid teaching approach that contains various teaching methods employed at different proportions, on students' academic achievement, retention, learning difficulties and misconceptions relating Uncertainty Principle of Quantum Physics.

Hybrid teaching approach, employed in this work, consists of % 44 peer tutoring, % 26 group and class discussion, %26 problem solving within group, % 4 demonstration and finally homework containing problem construction and solving.

Developed hybrid teaching approach was applied to one of the randomly selected groups, namely experimental group. Traditional methods, that contain lecturing and problem solving methods, were simultaneously employed to the control group students.

Data of the research was collected by means of "Classical Exam of Uncertainty Principle", and "Wave Packets and Uncertainty Principle Interview Forms".

Statistical analysis of the data clearly indicates that the hybrid teaching approach has significant advantages in terms of the academic achievement and retention compared with traditional teaching methods. Analysis of Interviews Outcomes indicates a clear decrease on learning difficulties and misconceptions concerning Uncertainty Principle.

Erdoğan ÖZDEMİR, 2008

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu araştırmada, kuantum fiziği belirsizlik ilkesinin hibrit (karma) yaklaşımla öğretiminin öğrencilerin akademik başarısına, kalıcılığına, belirsizlik ilkesi ile ilgili öğrenme güçlükleri ve yanılığlarına etkileri incelenmiştir. Bu bölümde, araştırmanın problem durumuna, amacına ve önemine, problem cümlesine, alt problemlerine, sayılıtlarına, sınırlılıklarına, tanımlarına ve kısaltmalarına yer verilmiştir.

1.1. Problem Durumu

Bu bölümde araştırma problemini doğuran nedenler, böyle bir araştırmaya duyulan gereksinim, araştırmanın dayandığı kuramsal temeller, araştırmanın alanı, önemi ve sınırları açıklanmıştır.

1.1.1. Kuantum Fiziğinin Fizik Bilimindeki Yeri ve Önemi

Merak ve gördüklerimizin ne olduğunu anlama istemi, insana ait bir özelliktir. İnsanoğlu yeryüzünde var olduğundan beri çevresiyle ilgilenmiş, ondan etkilenmiştir. İlk önceleri kendini fazlasıyla etkileyen olayları tanrılaştırmış, başka bir deyimle o olayların bir takım tanrılar tarafından yönetildiğine inanmıştır. Daha sonra olayların nedenlerini araştıran insanlar, bunlara bir takım kuramsal çözüm yolları önermişlerdir. Bu şekilde ortaya çıkan felsefe bilimi, Yunanlı bilgin Aristo ile bütün eğitim-öğretime esas olmuştur. Bu arada tek tük deneyciler çevreleriyle ilgili deneyler yapmışlar; fakat mantığa uygun biçimde açıklamak yerine olayları gözleyerek oluşundaki kuralları incelemişlerdir. Bilimde yeni bir çağ açan deney ve gözlem dönemi XVII. yy' da İtalyan bilim adamı Galileo Galilei ve arkasından İngiliz bilim adamı Sir İsaac Newton ile başlamıştır (İnan, 1988).

İşte doğadaki olayların nedenini araştıran ve bu olayların ne gibi kurallara ve yasalara bağlı olduğunu inceleyen bilim dalına fizik denir

Fizik; madde, enerji ve maddenin karşılıklı etkilerini inceleyen bir doğa bilimidir (Ertaş, 1993). Doğa bilimlerinin en temeli olan fizik, evrenin temel prensipleri ile ilgilenir (Serway & Beichner, 2002) ve fiziğin amacı fiziksel dünyayı anlamaktır. Doğadaki fiziksel olayları inceleme yöntemleri geliştirildikçe ve incelenen konular arttıkça fizik de, kuantum fiziği, optik, katıhal fiziği, atom fiziği, çekirdek fiziği gibi yeni yeni dallara ayrılmıştır.

Bu dallardan birisi olan kuantum fiziği dünyanın fiziksel resmini sonsuza kadar değiştirmiş farklı bir bakış açısı sunmuş olması açısından ayrı bir öneme sahiptir. 20. yy başında kuantum fiziğinin oluşması yalnızca yeni teorilerin keşfine neden olmamış aynı zamanda, tüm fizik için temel oluşturacak yeni bir bakış açısının girişi niteliği taşımaktadır. Kuantum fiziği, fizikte belirlenemezlik (indeterminism), olasılık (probabilities) ve yerelleşemezlik (nonlocality) kavramlarının temelini atmıştır.

1.1.2. Kuantum Fiziğinin Yapısı

19 Ekim 1900 tarihinde Berlin’de yapılan Alman Fizik Derneği toplantısında Max Plank, siyah cisim ışınmasının frekansa göre dağılımını veren deneysel bağıntıyı açıklayarak kuantum düşüncesine doğru ilk adımı attığı günden beri (Bozdemir ve Eker, 2007), kuantum fiziğinin öngördüğü birçok kuramsal sonuç, güçlü felsefi tartışmalara ve yorumlara neden olmuştur. (Erol, 2008).

1.1.2.1. Kuantum Fiziği Dalga Kuramı

Kuantum fiziğinde mikroskobik parçacıklar için bir dalga fonksiyonu tanımlanır. Bu dalga fonksiyonu, Schrödinger eşitliğinin mikroskobik parçacığın bağlı olup olmamasına göre çözümlenmesi sonucu elde edilir ve bu dalga fonksiyonu bir

parçacığın farklı hallerinin üstüste binmesi (süperpozisyon) durumunu ifade eder. Dalga fonksiyonu temsil ettiği kuantum fiziksel parçacığın ölçülebilir bir niceliğinin farklı hallerinin üst üste binmesini ifade etmesine rağmen, kuantum fiziksel parçacığın bu niceliğini belirlemek için yapılacak bir ölçümde, parçacık birçok halin toplamı şeklinde bulunmaz. Bu durumda parçacık dalga fonksiyonunun ifade ettiği hallerden yalnızca birisinde ölçülür. Bu durumu daha iyi açıklayabilmek için Schrödinger'in kedisi (*) adlı ünlü düşünce deneyinden yararlanabiliriz; Duvarlarından ne içeriye ne de dışarıya hiçbir fiziksel etkinin geçemeyeceği şekilde mükemmel inşa edilmiş kilitli bir sandık, bu sandığın içinde bir kedi ile bir kuantum olayı tarafından çalıştırılmaya hazır bir aygıtın bulunduğunu varsayalım. Kuantum olayı meydana geldiği anda aygıt içinde siyanür bulunan küçük bir şişeyi kırar ve kedi ölür. Böyle bir olay meydana gelmezse kedi yaşayacaktır. Sözü edilen kuantum olayı ise radyoaktif bir atomun parçalanmasıdır. Radyoaktif kaynağın yarılanma olasılığı ise %50 dir (Penrose, 2001). Buna göre sandığın dışındaki birisi için sandığı açıp kedinin durumuna bakmadığı sürece kedi “yaşayan kedi” ve “ölü kedi” olarak isimlendirebileceğimiz iki olası halin toplamı durumundadır. (Erol, 2008). Bu iki hal, olasılık genlikleriyle ifade edilsin; bu durumda kedi, ölü ve diri hallerinin bir karışımı içinde yer alır. Fakat kedinin bulunduğu hali belirlemek için bir ölçüm yapıldığında, yani sandığın kapısının açılması durumunda kedinin durumunu olasılıklarla ifade edilemez. Bu ölçümün sonucunda daima kedi ya “yaşayan kedi” ya da “ölü kedi” hallerinden birisinde bulunur. Ölçme işleminden sonra kedi bu iki olasılıktan birisine indirgenmiştir. Bu durumda akla gelen ilk soru; nasıl oluyor da kuantum fiziksel bir parçacığın olasılıklı durumu belirli ve tek bir duruma dönüşebiliyor?

* Kuantum fiziğinin temel dalga denklemini yazan Erwin Schrödinger (1887-1961) de kuantum fiziği ile ilgili olarak yapılan sonraki yorumları kabullenmeyenler arasındadır. Schrödinger, sonuçta kuramdan (gelişmesine katkıda bulunmaktan pişman olduğunu söyleyecek kadar !) soğudu. Bundan sonra o da Albert Einstein gibi kuramın mantıksızlığını çarpıcı biçimde ortaya koyacak örnekler aramaya koyuldu. 1935' te ortaya koyduğu Schrödinger'in Kedisi adı ile anılan düşünsel deneyi bunların en ünlüsüdür. Aynı yıl Einstein, Podolski ve Rosen, EPR deneyi adıyla bir düşünsel deneyle kuantum kuramının aldığı biçimi eleştirmeye çalıştılar. Ama zaman, Schrödinger'i ve Einstein'i değil, kuantum kuramını haklı çıkardı.

1.1.2.2. Kuantum Fiziği Kopenhag Yorumu

Kuantum fiziği deneylerinde çıkan ilginç bulguları anlamlandırabilmek için çeşitli yorumlar öne sürülmüştür. Bu yorumlardan, en eskisi ve bilim çevrelerinde en çok kabul gören yorum Kopenhag yorumudur (Copenhagen İnterpretation).(*). Kopenhag yorumu'na göre kuantum fiziğinde dikkat edilmesi gereken temel nokta, kuantum fiziksel parçacıkların ölçüm almadan ya da ölçüm aldıktan sonraki durumlarıdır. Kopenhag yorumuna göre kuantum fiziksel bir parçacığın konumu iki sav ile sınırlandırılır: 1) Ölçüm alınmadan önce kuantum fiziksel parçacığın bir konum değerine sahip olacağını düşünmek anlamsızdır. 2) Kuantum fiziksel bir parçacık ancak konumu ölçüldükten sonra bir konum değerine sahiptir (Lee 2006).

Kopenhag yorumunun birinci savını Werner Heisenberg yayınlamış olduğu makalesinde ayrıntılı bir şekilde açıklamıştır (Lee, 2006): Eğer birisi bir elektronun konumunu belirlemek istiyorsa, elektronun konumunu ölçmesi gerekir. Ölçüm almadan elektronun konumuna yönelik hiçbir şey söylenemez. Bu açıklamaya göre bir elektronun konumunu belirlemeye yönelik bir ölçüm yapmadığımız sürece, elektronun konumu hakkında hiçbir şey söyleyemeyiz çünkü elektronun ölçümden önce kesin olarak belirlenebilecek bir konumu yoktur.

1.1.2.3. Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Yorumu

Bu yoruma göre kuantum fiziği, mikroskobik parçacıkların ölçülebilir niceliklerinin yalnızca olasılıkları hakkında bilgi verir ve Kopenhag yorumuna göre, dalga fonksiyonu (ψ) kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılıklarını hesaplamaya yarayan, fiziksel özelliği olmayan bir matematiksel fonksiyondur. Dalga fonksiyonu parçacığa eşlik eden dalganın matematiksel ifadesidir. Doğrudan parçacığın herhangi bir fiziksel özelliğini temsil etmez (Morrison,1996). Bu dalga fonksiyonunun karesi ise:

$$P(x,t) = |\psi(x,t)|^2$$

* Kopenhag yorumu, büyük ölçüde Danimarkalı fizikçi Niels Bohr'un bilimsel ve felsefi düşünceleri üzerine kuruludur. Bu yüzden Bohr'un hayatının büyük bir bölümünü geçirdiği Kopenhag şehrinin adıyla anılıyor.

Max Born tarafından $\psi(x,t)$ dalga fonksiyonu ile tanımlanabilen bir parçacığın x ile $x+dx$ aralığında birim uzunluktaki bulunma olasılığını ifade eder. $|\psi(x,t)|^2$ nin en büyük olduğu yerde parçacığın bulunma olasılığı en yüksektir.

Günümüzde fizikçiler tarafından en fazla kabul gören kuramsal yaklaşım olan Kopenhag Yorumunun genel olarak kuantum fiziğine olasılıklı bir yapı kazandırdığını söyleyebiliriz. Bu yaklaşıma göre olasılık kuantum fiziğinin merkezinde yer alır. Kuantum fiziksel parçacıkların olasılıklı yapısı, belirlenebilirlik içeren yaklaşımlarla ve bizim klasik fizikten gelen sınırlı bilgimizle açıklanamaz. Kopenhag Yorumuna göre, kuantum fiziksel bir parçacık, ölçüm yapmadan önce, gerçekte hiçbir yerde değildir. Ölçme işlemi, ölçüm sonucunu değiştirdiği gibi parçacığın belirli bir konuma sahip olmasına sebep olur.

1.1.2.4. Dalga Fonksiyonunun Çöküşü

Ölçüm sonucu, kuantum fiziksel bir sistemin tek bir değere indirgenmesi durumu dalga fonksiyonunun çöküşü olarak isimlendirilir. Dalga fonksiyonunun çöküşü matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

Fiziksel bir sistemin olası halleri Dirac ya da Bra-ket rotasyonuna göre:

$$|\psi\rangle = \sum_i |i\rangle c_i$$

$|i\rangle$ farklı kuantum fiziksel halleri göstermek üzere yukardaki gibi ifade edilebilir.

$c_i = \langle i|\psi\rangle$ olasılık genlikleri katsayısı olarak ifade edilen karmaşık bir sayıdır. Dalga fonksiyonunun normalize olmuş hali: $\langle \psi|\psi\rangle = 1$ şeklinde ifade edilir.

$$\langle \psi|\psi\rangle = \sum_i |c_i|^2 = 1$$

Yukarıdaki ifadeye göre, kuantum fiziksel bir sisteme yönelik bir ölçüm gerçekleştirildiğinde, dalga fonksiyonu $|y\rangle$, $|i\rangle$ ile ifade ettiğimiz, $|c_i|^2$ olasılığına sahip hallerden birisine indirgenir. Bu durum dalga fonksiyonunun çöküşü olarak adlandırılır. Çünkü bu durumda dalga fonksiyonu ile ifade edilen diğer tüm haller yok olmuştur (Erol, 2008).

1.1.2.5. Kuantum Fiziği Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi

1927 yılında, Wernel Heisenberg (1901-1976) ilk kez bir parçacığın konumunu ve momentumunu aynı anda ve son derece doğrulukla belirlemenin olanaksız olacağı kavramını ortaya koydu. Eğer bir konum ölçümü Δx duyarlılığıyla ve momentumun ölçümü de aynı anda bir Δp_x duyarlılığıyla yapılırsa; o zaman, iki belirsizliğin çarpımı asla $\frac{\mathbf{h}}{2}$ (*) mertebesinde bir sayıdan daha büyük olamaz. Bu ilkenin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\mathbf{h}}{2}$$

Heisenberg'in oluşturduğu bu ilke, 1929 yılında Howard Robertson tarafından daha genel bir hale getirildi. Buna göre \hat{A} ve \hat{B} olarak tanımlanan mikroskobik bir parçacığın iki fiziksel özelliğini ortaya koyan operatörlerin standart sapmalarının çarpımı asla bu iki operatörün komütatörünün aldığı değer yarisından az olamayacaktır. \hat{A} ve \hat{B} kuantum fiziksel bir parçacın iki fiziksel büyüklüğünü ifade eden operatörler ve \hat{C} bu iki operatörün komüt operatörü olmak üzere $\hat{C} = i(\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A})$ eşitliğini tanımlayabiliriz. Bu durumda belirsizlik ilkesinin en genel hali aşağıdaki gibi tanımlanır (Lee, 2006):

* h kuantum fiziğinde, kuantizasyonun temel sabiti olarak düşünülebilecek bir sabittir. Adını fizikçi Max Plank'tan alır. Değeri joule cinsinden $h = 6.6260693 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$ değerindedir. $\mathbf{h} = \frac{h}{2\pi}$ sabitine de indirgenmiş Plank sabiti denir.

$$\Delta A \Delta B \geq \frac{1}{2} |\langle AB - BA \rangle|$$

Bu durumda i-) $\hat{C} = 0$ ise iki fiziksel büyüklüğün ölçümündeki belirsizliklerin çarpımı sıfır ya da daha büyük olacaktır. Bu tür fiziksel büyüklükler birlikte kesin olarak ölçülebilirler. ii-) Eğer $\hat{C} \neq 0$ ise iki fiziksel büyüklük aynı deneyde aynı anda kesin olarak ölçülemez (Karaoğlu, 2003).

Heisenberg ilk kez 1929 yılında Chicago Üniversitesi'nde verdiği bir konferansta, belirsizlik ilkesini anlatmak için tasarlamış olduğu düşünce deneyini ifade etti (Heisenberg, 1930). Bu düşünce deneyine göre bir elektronun konumunu ve momentumunu olanca doğrulukla ölçmek istediğimizi kabul edelim. Güçlü bir ışık mikroskobu ile elektronu görüntüleyerek bu ölçmeyi yapabiliriz. Elektronun bize görünmesi ve böylece yerini belirlemek için, elektrondan en azından bir ışık fotonu sıçrayarak ve mikroskoptan geçerek gözümüze gelmesi gerekir. Fakat foton elektrona çarptığı zaman enerji ve momentumunun bir kısmını elektrona aktarır. O halde, elektronun çok hassas olarak yerleştirilmesi denenirse (yani Δx ' çok küçük yapılmaya çalışılırsa) momentumunda oldukça büyük bir belirsizliğe neden olunacaktır.

Heisenberg bu durumu şu cümlelerle ifade etmiştir:

“Elektronun konumunu belirlemek için gönderdiğimiz foton elektrona çarptığı anda elektron bir hız kazanacak ve momentumu değişecektir. Bu değişim gönderilen ışığın dalgaboyu büyütülerek veya küçültülerek değiştirilebilir. Bundan dolayı elektronun konumu ne kadar kesin belirlenebilirse momentumu o kadar belirsizleşir. Bu durumun tam tersi de doğrudur” (Heisenberg, 1930).

Bu deneydeki ölçme işlemi tamamen bireysel bir ölçümdür ve deneyde elde edilen konum ve momentum ölçüm değerleri, parçacığın ölçümden önceki değerleri değildir. Kuantum fiziğindeki ölçümler parçacığın ölçümden önceki durumu

hakkında bilgi vermez (Lee, 2006). Heisenberg, belirsizlik ilkesi düşünce deneyindeki, ölçüm sonuçlarının parçacığın ölçümden önceki durumu hakkında bilgi vermediğini ise şu sözleriyle belirtmiştir:

Belirsizlik ilkesi kuantum mekaniksel parçacıkların konum ve momentum değerlerinin ölçümden önceki durumları hakkında bilgi vermez; Eğer elektronun ölçülen değeri ölçümden önceki hızını belirtseydi, ölçümden önceki konumu hesaplanabilirdi. Bu durumda elektronun hem konumundaki, hem de momentumundaki belirsizlik aynı anda azaltılabildi (Heisenberg, 1930).

Bu durumda belirsizlik ilkesi düşünce deneyinde gerçekleştirilen ölçme işleminin bireysel ve parçacığın ölçümden sonraki durumunu ortaya koyan bir deney olduğunu böylece elektronun ölçülen, konum veya momentum değerlerine ölçümden sonra sahip olduğunu söyleyebiliriz. Mikroskopik parçacıkların ölçmeden önceki durumları hakkında bilgi edinebilmek için, tek bir parçacık yerine özdeş birçok mikroskopik parçacığın ölçüm değerlerine ihtiyaç vardır. Bu durumda Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin parçacığın ölçümden önceki durumu hakkında bilgi verebilmesi için birçok özdeş mikroskopik parçacıktan elde edilen ölçüm değerleri gerekir. Elde edilen ölçüm değerlerinin istatistiksel dağılımından yararlanarak parçacık hakkında yorum yapılabilir. Bu durumda Δx ve Δp_x mikroskopik bir parçacığın konum ve momentum ölçümlerinin standart sapmasını ifade eder. Standart sapma birçok ölçümün karelerinin ortalamasının karekökü hesaplanarak bulunur.

1.1.3. Klasik Sistemler ile Kuantum Fiziksel Sistemler Arasındaki Farklılıklar

Kuantum fiziği ile klasik fizik arasındaki farklılıklar, kuantum fiziğinin yapısının anlaşılabilmesi için son derece önemlidir (Pospiech, 2000). Klasik fizik ile kuantum fiziği arasındaki temel farklılıklar:

1.1.3.1. Üst üste Binme (Süperpozisyon) İlkesi

Kuantum fiziğinin en önemli özelliği, kuantum fiziğinin doğrusallık özelliğidir (lineerlik). Doğrusallığın önemi, kuantum fiziğindeki iki halin üst üste binmesi sonucu oluşan durum bir üçüncü hal olarak kabul edilir. Bu özellik, kuantum fiziğinin belirlenemezlik, belirsizlik ve fiziksel niceliklerin, lineer vektör uzayında operatörlerle temsil edilmesinin temelini oluşturur (Pospiech, 2000).

1.1.3.2 Klasik Fizik ve Kuantum Fiziğinde Ölçme

Klasik fizikte, günlük yaşamımızdaki tüm fiziksel nicelikler kesin bir değere sahiptir. Klasik sistemlerde, herbir fiziksel nicelik, ölçme aygıtından bağımsız bir şekilde tanımlanabilir. Klasik fizikte, ölçülebilir her fiziksel niceliğin tam ve sürekli belirli bir değere sahip olması kuantum fiziğinde geçerli değildir. Kuantum fiziksel sistemlerde ölçüm sonucu ölçme aracından bağımsız değildir (Pospiech, 2000).

1.1.3.2.1. Klasik Sistemlerde Ölçme

Klasik parçacıklar üzerine bir ölçüm yapıldığında, klasik sistem ile ölçü aracı etkileşime gireceği için, ölçme işlemi ölçüm sonucunu değiştirecektir. Ayrıca kişisel yetersizliklerden, kullanılan ölçü aracının ve dış etkenlerden ileri gelen düzenli hatalar ölçüm sonucuna karışacaktır (Ertaş, 1993) fakat klasik bir sistemde ölçü aracının ölçüm sonucunu değiştirmesi ve düzenli hata kaynaklarından gelen hata miktarları olabildiğince küçültülebilir. Örneğin; bir termometre ile bir cismin sıcaklığını ölçmek istediğimizde, termometre ile cisim arasındaki enerji geçişinden dolayı, ölçüm sonucu, sıcaklığı ölçülen cismin ölçümden önceki sıcaklığını yansıtmaz. Fakat daha düşük enerji kapasitesine sahip bir termometre kullanılırsa, elde edilen sonuç cismin gerçek sıcaklık değerine daha yakın olur ve klasik sistemlerde bir termometrenin daha doğru ölçüm değerleri alacak şekilde ve daha az ölçülen cisimle etkileşime girecek şekilde üretilmesini sınırlayan bir durum yoktur.

Klasik fizikte, düzenli hata kaynaklarından ve ölçü aletinin, ölçülen cisimle etkileşmesinden doğan hatalar kestirilebilir ve hesaplanabilir. Bunun dışında klasik sistemlerin bir diğer özelliği ise, klasik sistemlerde ölçme sonuçları kesindir. Gözlem sonucu elde edilen değer, tam olarak ya da aşağı yukarı sistemin ölçümden önce var olan bir değerini gösterir çünkü klasik fizik, dünyanın kesin olarak belirlenebilen fiziksel yasalarla yönetildiğini kabul eder. Klasik bir sistemden elde edilen bir ölçüm değeri sistemin geçmişi hakkında bilgi verir. Klasik bir sistem üzerine yapılan eş zamanlı ölçümler sonucu elde edilen değerler klasik sistemin hem ölçümden önceki, hem de ölçümden sonraki durumu hakkında bizlere bilgi verir (Bell, 1987).

1.1.3.2.2. Kuantum Fiziksel Sistemlerde Ölçme

Bir sistem üzerine yapılan ölçümde, kişisel yetersizliklerden, kullanılan ölçü aracından ve dış etkenlerden ileri gelen düzenli hataların oluşabilmesi için ölçme işlemi sonucu elde edilen değer, sistemin ölçümden önceki veya ölçümden sonraki bir değerini ifade etmesi gerekir. Kuantum fiziği, ölçüm sonuçlarını olasılık olarak değerlendirir. Kuantum fiziğinde tek bir ölçüm, ölçülen sistemin ölçümden önceki durumu hakkında bir bilgi içermez. Bu durumda kuantum fiziğinde, kişisel yetersizliklerden, kullanılan ölçü aracından ve dış etkenlerden ileri gelen hatalar, klasik fizikteki durumdan farklı olarak ne giderilebilir, ne de kestirilebilir (Lee, 2006). Kuantum fiziğinde, bu durumu ortaya koyabilmek için elektronların çift yarıktaki girişim deneyini inceleyebiliriz.

Thomas Young ışığın bir dalga gibi davrandığı çift yarıktaki girişim deneyini keşfettikten sonra, Einstein ışığı foton olarak isimlendirilen parçacıklardan oluştuğu yaklaşımını kullanarak fotoelektrik etkiyi başarıyla açıklamıştır. Bu iki bilimsel çalışma, ışığın ve daha sonra elektron gibi mikroskobik parçacıkların hem dalga, hem de parçacık özelliği taşıdığını ortaya koydu. Sık sık elektron gibi mikroskobik bir parçacığın bazen parçacık, bazen dalga şeklinde davrandığı söylenmektedir. Fakat deneysel sonuçlar, elektronun bazen dalga şeklinde davrandığı görüşünü desteklememektedir. Örneğin; bir grup özdeş elektronla çift yarıktaki kırınım deneyini gerçekleştirdiğimizi düşünelim. Elektronların toplamının oluşturacağı ekrandaki

desen, özdeş elektronların dalga yapısı gösterdiğini ortaya koyar fakat tek tek elektronlar parçacık özelliği gösterirler, bu deneydeki elektronlar tek tek dalga özelliği göstermez.

Bu durumu Feynman şu ifadelerle açıklamaktadır (Feynman, 1965):

“Eğer, özdeş elektronlarla çift yarıktaki kırınım deneyini gerçekleştiresek, karma bir sonuç elde ederiz. Elektronlar, ekranda daima özdeş noktalar oluştururlar ve bu noktaların ekrana varış olasılıklarının dağılımı bir dalganın yoğunluk dağılımına benzer. Bundan dolayı, elektronun bazen dalga gibi, bazen de parçacık gibi davrandığı düşünülür.”

Elektronun bazen parçacık, bazen de dalga gibi davrandığı yönündeki yanılığın temelinde, tek ölçüm ve çoklu ölçümün fiziksel anlamlarının net bir şekilde anlaşılabilmiş olması yatar.

Feynman’a göre, elektronların çift yarıktaki girişimi deneyi ile ilgili olarak; çift yarıklı deneyinde elektronlar, kaynaktan yayınlanıp yarıklardan geçerek ekrana ulaşana kadar benzer yollardan geçerek ekrana ulaşırlar ve ekranda noktasal izler oluştururlar. Ekranda oluşan desen, her bir elektronun oluşturduğu izlerin bir toplamıdır. Eğer bu deney 10 ya da 100 elektronla gerçekleştirilirse, ekranda herhangi bir girişim deseni elde edemeyiz. Ekrana ulaşan ne tek bir elektron ne de çok az sayıda elektron, girişim deseni oluşturamaz.

Çift yarıklı deneyinde bir elektron kaynaktan üretilene kadar, bir başkası ekrana ulaşmış bir noktasal iz bırakmış olacaktır. Böylece girişim deseninin oluşmasını elektronların arasında oluşacak bir etkileşime bağlayamayız. Sonuç olarak, yeterli sayıda elektron ekrana ulaşırsa, ekranda bir girişim deseni oluşur fakat bu deseni oluşturan elektronlardan hiçbirisi tek başına bir girişim deseni oluşturamaz. Dolayısıyla dalga özelliği göstermez.

Bu durumda akla Şu soru gelebilir. Elektronlardan hiç birisi dalga özelliği göstermemesine rağmen, nasıl oluyor da, elektronlar grup halinde bir dalga deseni oluŐturabiliyor. Şu ana kadar yapılan açıklamalardan, elektronların grup halindeki davranıŐı, tek bir elektronun davranıŐını açıklamak için kullanılamaz. Kuantum fiziğinin deneysel sonuçlarını yorumlamak için oluşturulan Kopenhag yorumu ve diğer yorumlar, tek elektrona yönelik yapılan bir lmnden yararlanarak, elektronun geçmiŐteki durumunun belirlenemeyeceğini ortaya koymuştur. Fakat özdeş elektronların toplu ölümlerinin, parçacığın lmnden önceki durumunu ifade edebileceğini belirlemişlerdir. Çift yarık deneyinde ölüm, elektronun konumuna yönelik yapılan bir ölümdür fakat Kopenhag yorumuna göre, elektronun lmnden önceki konumunu ortaya koyacak bir konum değeri yoktur. Girişim deseni oluşturmaya yetecek sayıda elektronun grup dağılımı, kuantum fiziksel olarak elektronun önceki durumu hakkında kestirimde bulunmaya olanak sağlar. Elektronların toplu halde ortaya koydukları durumdan yararlanarak, özdeş elektronların halleri (olası konumları) tanımlanabilir (Lee, 2006).

1.1.3.3. Kuantum Fiziğinde Belirsizlik

İlk kez Heisenberg tarafından ortaya konulan belirsizlik ilkesi kuantum fiziğinin anlaşılması en güç kavramlarındanır. Bu yüzden bu ilkeye yönelik çokça bağıntılı ve yorum bulunmaktadır. Kuantum fiziği belirsizlik ilkesinin öğrenilmesinin g olmasının temel sebebi klasik bir sistemde bu durumun bir karŐılıĐının olmamasıdır. Klasik bir sistemde bir sistemin kesin bir konumu olmadığını söylemek olası değildir. Günlük hayatta tüm nesnelere belirli bir konuma sahiptir bu yüzden kuantum fiziksel bir sistemde, örneğin; elektronların, çift yarıktaki kırınım deneyinde bir elektronun konum ve momentum değerinin tüm olası durumların bir st üste binmiŐ hali olduğunu anlamak güçtür (Pospiech, 2000).

1.1.4. Kuantum Fiziği Ğretimine Yönelik Olarak Yapılan alıŐmalar

Şu ana kadar yapılan açıklamalardan da anlaŐılabileceĐi gibi kuantum fiziği klasik fizikten farklı ve kendine has bir yapıya sahiptir. Bu yüzden kuantum fiziğinin

öğretimine yönelik alanyazında birçok çalışma vardır. Ayrıca son yıllarda kuantum fiziği ile ilgili yapılan çalışmalar artmaya başlamıştır. Bu bölümde; kuantum fiziği öğretimini güçleştiren etkenler tanımlanmış ve kuantum fiziği kavramlarına yönelik yanlış ve öğrenme güçlükleri ortaya konulmuştur.

1.1.4.1. Kuantum Fiziği Öğretimini Güçleştiren Etkenler ve Öneriler

Fizikle ilgilenen herkes Einstein'ın kuantum fiziğine yönelik olarak söylediği "Tanrı asla zar atmaz." (Ting, 1999) sözünü duymuştur. Kuantum fiziğinin oluşmasına çok büyük katkıları olan Einstein ölçme işleminde, belirlenebilirliğin ortadan kalkmasından hiç hoşlanmamıştır. Çünkü "O asla parçacıkların, uzayda bulunma olasılıklarının olduğuna " inanmamıştır. Einstein kuantum fiziğinin içerisinde bir yerlerde gizli, tamamlanmamış bir kuramın olduğunu düşünüyordu. (Erol, 2008) Fakat günümüze kadar yapılan araştırmalar ve teknolojik ilerlemeler kuantum fiziği konusunda Einstein'ın yanlış olduğunu ortaya koyarken, Einstein ile aynı görüşte olmayan Bohr, Heisenberg, Schrodinger gibi kimi bilim adamlarını haklı çıkarmıştır (Akarsu, 2007). Kuantum fiziği mikro dünyanın anlaşılması için mükemmel bir teori olmasına rağmen olasılık ve belirsizlik içeren yapısından dolayı birçok kişi tarafından net olmadığı yönünde eleştirilmektedir (Hooft, 1997). Einstein gibi birçok bilim adamı tarafından kabul edilmesi güç olan bu kuramın, öğrenciler tarafından algılanması da zordur. Bu zorluğun temel nedeni kuantum fiziğinin yapısının bizim algıladığımız evrende geçerli olan yasalardan farklı olmasıdır. Bu yüzden öğrenciler kuantum fiziği kavramlarını klasik fizik kavramlarından yararlanarak açıklamaya çalışmaktadır. Birçok kişi, özellikle kuantum fiziğinde dalga parçacık ikilemi ve belirsizlik ilkesini açıklamak için klasik fizikteki konum, momentum, dalga ve parçacık kavramlarından yararlanmaya çalışmaktadır. Fakat bu klasik kavramlar, günlük yaşamda elde edilen deneyimlerden gelmektedir ve kuantum fiziği kavramlarını açıklamakta yetersizdir (Pospiech, 2000). Bir başka ifadeyle öğrencilerin Klasik Fizik öğretiminden elde ettiği oldukça inandırıcı kanıtlanabilir kavramları ile kuantum fiziğinin belirsizlik ve olasılık içeren kavramlarının öğrenilmesi güçtür.

Alanyazında öğrencilerin kuantum fiziğini öğrenmesini güçleştiren etkenleri belirlemek için yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir. (Abhang, 2005).

- Öğrenciler öğrenme ortamına gerek yaşamdaki deneyimlerinden gerekse klasik fizikte öğrendikleri belirlenebilirlik, nedensellik gibi algılanması kolay klasik fizik kavramlarıyla gelirler. Bu yüzden kuantum fiziğinin belirsizlik ve olasılık içeren kavramlarını algılamakta güçlük çekerler.
- Kuantum fiziğinin iki matematiksel yaklaşımı olan Heisenberg'in matrix mekaniği ve Schrödinger'in dalga denklemi birbirinden oldukça farklıdır. Bu yüzden bu iki yaklaşımın nasıl oluyorda aynı fiziği açıklamakta olduğu anlaşılammaktadır.
- Kuantum fiziği kavramlarının zihinde canlandırılması ve kuantum fiziğinin gerekli olan matematiğini çözümlmek kolay değildir.
- Kuantum fiziğinde genellikle güvenilebilir bir görsel model yoktur.
- Kuantum fiziği genellikle tarihsel gelişim sırasına göre ardışık bir şekilde işlenir. Bu yüzden kuantum fiziğini yeni öğrenmeye başlamış birisi kuantum fiziğinin farklı bölümleri arasındaki ilişkiyi kurmakta güçlük çeker.
- Kuantum fiziği garip ve esrarengizdir. Yani öğrenciler, kuantum fiziğinin çok zor ve alışılmamış olduğunu düşünmektedirler.
- Matematiksel olarak karışık ve anlaşılması çok güçtür.
- Öğrenciler kuantum fiziğine karşı sezgisizdirler. Yani herkese hareket konusundaki itmeler ya da toplar vb. oldukça tanıdık gelir. Hatta kuvvetin ya da ivmenin ne olabileceği ile ilgili olarak mantıklı bir fikire sahiptirler.

Fakat kuantum fiziği kavramlarına yönelik sezgiye çok az ya da hiç sahip değildirlere (Styler, 1997).

1.1.4.2. Kuantum Fiziğinin Temel Kavramları ve Bu Kavramlarla ilgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar

Bu bölümde, klasik fizik ve kuantum fiziği kavramları arasındaki farklılıktan ileri gelen güçlükere ve en temel kuantum fiziği kavramlarına yönelik yanılgılar üzerinde durulmuştur.

1.1.4.2.1 Klasik Fizik Kavramları İle Kuantum Fiziği Kavramlarının Açıklanmasından Doğan Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar

Kuantum fiziği yasalarının, klasik fizik yasalarına uymaması ve günlük hayattan elde ettiğimiz deneyimlerle çelişmesi, kuantum fiziğinin belirsizlik içeren, dolayısıyla olasılık sınırları içerisinde parçacıkların tanımlanmasını zorunlu kılan yapısının öğrenilmesini oldukça güçleştirdiği bilinmektedir. Alanyazında bu yönde yapılmış çalışmalar da vardır. (Bilal ve Erol 2007; Olsen 2001; Styler 1996; Ireson 1999 a; Müler & Wiesner 1999; Steinberg ve ark. 1999; Mashhadi & Woolnough 1999; Abhang 2005; Pospiech 2000). “Bir atomun çevresindeki bir elektron her zaman belirli bir konuma sahip midir?” şeklindeki bir soruya öğrenciler tarafından “Evet, elektron bir yerde olmalı fakat ölçme ile ulaşamaz”, “Evet, elektron belirli bir konuma sahiptir” şeklinde yanıtlar verilmesi ve elektronun atom çevresindeki hareketini, Güneş Sistemi’nden veya Bohr Atom Modelini’nden yararlanılarak açıklanması (Müler & Wiesner, 1999) kuantum fiziksel parçacıkların çok küçük küresel parçacıklar olarak algılanması (Mashhadi & Woolnough, 1999) kuantum fiziğinin parçacıkların yapısının yeterince anlaşılmadığını göstermektedir. Uygulama öncesinde bu çalışmanın temelini oluşturmak için araştırmacı tarafından öğrencilerle yapılan görüşmelerde yine bu yönde bulgular elde edilmiştir. Görüşme yapılan öğrencilerde öne çıkan yanılgılardan birisi; elektronun kesin olarak belirlenebilen bir konumu olduğu yönündedir (Özdemir ve Erol, 2008).

1.1.4.2.2. Kuantum Fiziği Olasılık Dalgaları ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar

Elektronların kırınımı (*) nı ortaya koyan deneysel sonuçtan sonra, kuantum fiziksel parçacıkların istatistiksel dağılımının su dalgaları gibi kırınım deseni oluşturması, kuantum fiziksel parçacıkların yapısını anlayabilmek için dalga kuramının ortaya atılmasına sebep olmuştur (Karaoğlu, 2003).

Kuantum fiziksel dalgalar klasik dalgalardan farklı özelliklere sahiptir. Bu dalgalar enerji taşımayan üç boyutlu R^3 uzayında tanımsız, dolayısıyla fiziksel bir anlam içermeyen dalgalardır. Bu dalgalar kuantum fiziksel bir parçacığın olası hallerinin istatistikî bilgisini taşır (Morrison, 1996). Fakat bu dalgalar, klasik dalgalarla karıştırılmaktadır. Öğrencilerin kuantum fiziksel parçacıkların sinüsoidal bir yol boyunca ilerlediğini (Steinberg ve ark. 1999) ve dalga fonksiyonunun boyutsuz olduğunu belirtmeleri, dalga fonksiyonunun olasılık yoğunluğu ile olan ilişkisini anlamakta da güçlük çekmekte olmaları (Bilal ve Erol, 2007), öğrencilerce kuantum fiziği dalga kuramını klasik dalgalarla ilişkilendirerek açıklama eğilimi içinde olduklarını gösterir. Bu araştırmaya temel oluşturması için öğrencilerle yapılan görüşmede de, dalga fonksiyonunun yapısına yönelik sorulara verilen yanıtlardan elde edilen bulgulara göre öğrencilerin kuantum fiziği olasılık dalgalarına ilişkin yanılgıları şu şekildedir; 1) Kuantum fiziksel dalgalar tüm uzaya yayılmış sabit genlikli sinüzoidal dalgalardır, 2) Kuantum fiziksel dalgalar parçacıkların tepe ve çukur noktaları üzerinde ilerlediği harmonik dalgalardır. 3) Kuantum fiziksel dalgalar elektromanyetik dalgalardır. 4) Kuantum fiziksel dalgalar mikroskobik parçacıklar üzerine etkiyen bir kuvvettir (dalga fonksiyonunun parçacığın yörüngesini belirttiği düşünülüyor). 5) Kuantum fiziksel dalgalar mikroskobik parçacıkları takip eden dalgalardır (Özdemir ve Erol, 2008). Tüm bu bulgular kuantum fiziği için önemli bir kavram olan olasılık dalgalarının öğrencilerce net bir şekilde anlaşılmadığını göstermektedir.

* İlk kez 1937 yılında Clinton Joseph Davidson ve George Paget Thomson elektronların bir kristal yapı aracılığıyla kırınımına uğradığını keşfettiler. Bu deneysel sonuçtan dolayı Nobel Ödülü kazandılar.

Ayrıca Sadaghiani (2005) kuantum fiziği kavramlarından ölçme kavramı ve olasılık kavramlarının öğrenilmesi en güç kavramlardan olduğunu belirtmiştir. Bu araştırmada beklenen değer, olasılık yoğunluğu, belirsizlik ikesi ve klasik olasılık kavramlarının öğrencilerce anlaşılamadığı belirtilmiştir. Bu çalışmada öğrencilerin kuantum fiziği dalga fonksiyonu ile ilgili öğrenme güçlükleri şu şekilde sıralanabilir: 1) Dalga fonksiyonundan olasılık yoğunluğu ve beklenen değeri hesaplamakta güçlük çektikleri görülmüştür. 2) Dalga fonksiyonunun olasılık yoğunluğu bulunurken dalga fonksiyonunun karesini almama eğilimi vardır. 3) Dalga fonksiyonu ile enerji öz değerleri arasındaki ilişki algılanamıyor.

Bu çalışmada öne çıkan bir başka durum öğrencilerin beklenen değer ile ölçmedeki olasılık yoğunluğu kavramını birbirine karıştırdıklarıdır. Ayrıca birçok öğrencinin olasılığın fonksiyonel anlamını ve bu kavramın terminolojiyle olan ilişkisini anlayamadıkları görülmüştür. Özellikle bu kavramla ilgili yanılgıların Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi konusunda ortaya çıkmakta olduğu belirtilmiştir. Yine bu çalışmada öğrencilerin çoğunun beklenen değer kavramını ve ölçmedeki belirsizlik miktarını reddetme eğiliminde olduklarını, bazı öğrencilerin ise olasılık yoğunluğu ve olasılık genliği kavramlarını reddettiği veya olasılık dalgalarını bölge veya alan olarak tanımladıkları görülmüştür. Bu kavramların öğrenilmesindeki güçlük ise bu kavramların yabancı kavramlar olması ve bu kavramların hesaplanması sırasında öğrencilerin alışık olduklarından daha fazla matematiğe ihtiyaç duyulması olduğu belirtilmiştir.

1.1.4.2.3. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi İle İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar

“Belirsizlik İlkesi”, pek çok kavramla birlikte anlaşılması ve içselleştirilmesi sıkıntılı olan bir ilkedir. Belirsizlik ilkesi ile ilgili yanılgıları şu şekilde ifade edebiliriz: 1) Belirsizlik ilkesi tek bir parçacığın konum ve momentumunun ölçülemeyeceği anlamına gelmektedir (Aylward, 2006). 2) Belirsizlik ilkesi ölçme hatalarından kaynaklanır. 3) Belirsizlik ilkesi ölçümün, ölçülen sonucu değiştirmesi demektir. 4) Bir parçacığın konumundaki belirsizlik,

parçacığın sınırlandırıldığı aralığın genişliğidir. 5) Konumdaki belirsizlik parçacığın kesin konum değerinin olduğu aralığı ifade eder. Uygulama öncesinde öğrencilerle yapılan görüşmelerde ortaya çıkan belirsizlik ilkesinin kaynağı ve belirsizlik ilkesi ile ilgili yanılgılar: 1) Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır. Sadaghiani (2005) öğrencilerin kuantum fiziksel parçacıkların kesin bir değerinin elde edilememesini insanların yetersizliğine bağladıklarını ve bu sebepten dolayı kuantum fiziğinde fiziksel niceliklerin olasılıklarla ifade edildiğini belirttiklerini ifade etmiştir. 2) Belirsizlik ilkesi ölçmedeki hatadan kaynaklanır. 3) Belirsizlik ilkesi mikroskobik parçacıkların çok hızlı hareket etmesinden kaynaklanır. 4) Δx mikroskobik bir parçacığın ölçülen iki konum değeri arasındaki farktır ve Δp_x parçacığın bu iki konum değerine karşılık olarak ölçülen momentum değerleri arasındaki farktır. 5) Δx mikroskobik parçacığın x yönünde aldığı yolun ortalama değeridir. 6) Δx ve Δp_x mikroskobik parçacığın konumu ile momentumunun ölçümünde yapılan hatadır (Özdemir ve Erol, 2008).

1.2. Amaç ve Önem

1.2.1. Amaç

Bu çalışmada kuantum fiziğinin temel ilkelerinden birisi olan Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi'nin öğretiminin üzerinde durulmuştur. Çünkü bu kavram kuantum fiziğinin temel kavramlarından birisidir. Kuantum fiziğinin istatistik, olasılık, belirlenemezlik içeren doğasını çok iyi yansıttığı gibi uygulamaları ile klasik fizik kavramları ile kuantum fiziği kavramlarının karşılaştırılmasına olanak sağlar.

Belirsizlik ilkesinin yapısını ve alanyazında kuantum fiziği temel kavramlarına yönelik çalışmaları göz önünde bulundurursak kuantum fiziği belirsizlik ilkesinin etkili öğretimi için aşağıdaki noktaların üzerinde durulmasının gerekli olduğunu ileri sürebiliriz.

1) Klasik fiziğin ve kuantum fiziğinin yapısındaki temel farklılıkların ortaya konulması, bu farklılıkların örneklerle açıklanması gerekir.

2) Belirsizlik ilkesi kuantum fiziğinin dalga kuramı ile doğrudan ilişkilidir. Kuantum fiziğinin anlaşılabilmesi için kuantum fiziği dalga kuramı ve bu dalganın olasılık ve istatistiksel yapısı iyi anlaşılmalıdır.

4) Belirsizlik ilkesi yalnızca bir kuantum fiziksel parçacığın konum ve momentumun belirsizliği ile sınırlı değildir. Bu ilkenin komütasyon bağıntısı göz önünde bulundurularak en genel ifadesinin oluşturulması önemlidir.

5) Belirsizlik ilkesindeki belirsizlik ve beklenen değer kavramları klasik fizikteki standart sapma ve ortalama değer kavramları ile matematiksel olarak ilişkilidir. Fakat fiziksel anlamları farklıdır. Bu durum yanılgılara sebep olmaktadır. Belirsizlik ve beklenen değer kavramları klasik bir sistemle ilişkilendirilerek farklılık ve benzerlikler ortaya konulabilir.

6) Belirsizlik ilkesinin klasik ve kuantum fiziksel sistemlerdeki durumlarının irdelenmesi, belirsizlik ilkesinin sınırlarının anlaşılması açısından önemlidir.

7) Kuantum fiziğinin istatistiksel yorumu diğer kuantum fiziği yorumlarına göre daha açık bir yorumdur. Bu yüzden belirsizlik ilkesi ve belirsizlik ilkesi ile bağlantılı olan kavramların öğretiminde istatistiksel yorumun kullanılması gerekir.

Araştırmanın konu içeriği oluşturulurken yukarıda tespit edilen noktalar göz önünde bulundurulmuştur. Belirsizlik ilkesi, kuantum fiziği olasılık dalgaları ve bu dalgaların istatistiksel yorumuyla doğrudan ilişkili olduğundan, bu çalışmada bu kavramların daha etkili olarak öğrenilebilmesi için klasik fizik ve kuantum fiziğinin karşılaştırılmasına gidilmiştir. Alanyazında belirtildiğine göre öğrenciler tarafından kuantum fiziği olasılık dalgaları ile klasik dalgalar karıştırılmaktadır. Bu yüzden

içerik oluşturulurken bu dalgaların fiziksel özellikleri ve klasik dalgalarla olan farklılıklarının üzerinde durulmuştur.

Belirsizlik ilkesi, olasılık kavramıyla doğrudan ilişkilidir. Örneğin bir parçacığın konumu ve momentumundaki belirsizlik standart sapma ile, beklenen değer ise ortalama değer kavramıyla yakından ilişkilidir. Bu yüzden araştırmacı tarafından içerik, öğrencilerce kolaylıkla anlaşılabilir klasik bir durumu göz önünde bulundurarak (bir sınıftaki yaş dağılımı istatistiksel bilgileri) kuantum fiziği belirsizlik ve beklenen değer kavramlarına geçiş yapılacak ve bu kavramların fiziksel anlamları arasındaki farklılıklar ortaya konulacak şekilde yapılandırılmıştır.

Belirsizlik ilkesinin tanımı genellikle konum ve momentumla sınırlı tutularak yapılmaktadır. Gerçekte belirsizlik ilkesinin tanımının komütasyon ilişkisi göz önünde bulundurularak yapılması gerekir. Bu yüzden içerik kuantum fiziği belirsizlik ilkesinin kuramsal çıkarımı ve komütasyon ilişkisi göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır.

Belirsizlik ilkesine yönelik yanılgıları belirlemek için yapılan çalışmaların da ortaya koyduğu gibi belirsizlik ilkesi fiziksel anlamı üzerinde durulması gerekir. Bu yüzden çalışmada belirsizlik ilkesinin fiziksel anlamının üzerinde özellikle durulmuştur.

Konum ve momentum belirsizliğini en kolay ortaya koyabilecek deneylerden birisi ise elektronların tek yarıktaki kırınımı deneyidir. Öğrenciler tarafından belirsizlik ilkesinin klasik ve kuantum fiziksel açıdan irdelenebilmesi için, bu deney önce klasik parçacıklarla (top), daha sonra da kuantum fiziksel parçacıklarla (elektron) gerçekleştirilerek, belirsizlik ilkesinin klasik ve kuantum fiziksel parçacıklardaki ifadeleri irdelenmiştir. Ayrıca belirsizlik ilkesi ile ilgili olarak Heisenberg'in oluşturmuş olduğu düşünce deneyinden de yararlanılmıştır.

Son yıllarda öğrencilerin kuantum fiziği dersini anlamaları üzerine araştırmalar çok büyük oranda artmıştır. Bu çalışmalar, kuantum fiziğinin nasıl öğrenileceğini anlamamıza yardım edecek bazı sonuçlar gösterir (Zollman, 1999).

Araştırmada kullanılan ders içeriği, çalışma yapraklarında yer alan tartışma soruları, problemler ve ev ödevi problemleri hazırlanırken yukarıda belirtilen durumlar göz önünde bulundurulmuştur. Buna ek olarak alanyazında fizik eğitimde ve kuantum fiziği eğitimde önceki yıllarda yapılan çalışmalarda ortaya konulan öğretim yöntemlerinden uygun olanları bir araya getirilmiş hibrit bir yaklaşımla belirsizlik ilkesinin öğretimine gidilmiştir.

Etkili bir eğitim öğretim ortamı hazırlayarak, öğrencilerin öngörülen hedeflere daha kolay ulaşmalarını sağlamada ve yürütülen programların başarıya ulaşmasında görsel araç gereçlerden yararlanılabilir (Karamustafaoğlu, 2006). Kuantum fiziğinde, laboratuvarında deney yapma olanağı olmadığından kuantum fiziği çift yarık deneyi ve tek yarık deneylerinde kuantum fiziksel parçacıkların davranışlarını açıklayabilmek için görsel araç gereçlerden yararlanılmıştır. Ayrıca belirsizlik ilkesinin fiziksel anlamı ile ilgili bölümde de konu ile ilgili kısa bir film gösterisi sunulmuş öğrencilerin derse olan ilgilerini arttırma yoluna gidilmiştir.

Kuantum fiziği belirsizlik ilkesi ve bu ilkeyle bağlantılı olan diğer kavramların içselleştirilmesi ve anlaşılması oldukça zordur. Eğitim kuramcılarında olan Vygotsky öğrenmede sosyal etkileşimin gelişimin vazgeçilmez koşullarından birisi olduğunu vurgulamıştır. Ona göre, gelişim çevreyle ve çevredeki daha gelişmiş insanlarla etkileşimin ürünüdür. Bunu sağlayabilmek için araştırma süresince öğrenciler çalışma metinlerine grupça çalışmışlardır. Araştırmacı ise sürekli grupları kontrol ederek anlaşılmayan noktaları aydınlatmıştır. Bu yönüyle uygulanan öğrenme yaklaşımının bir bölümünü akran öğretimi oluşturmaktadır. Bu yolla öğrencilerin birbirinin yaklaşık gelişim alanına (zone of proximal) girerek öğrenenin gereksinim duyduğu ipuçları yardım ve desteği sağlaması amaçlanmıştır (Açıkgöz, 2003). Bu yöntemle dönüt ve düzeltmeler anında verildiği için öğrencilerin kuantum fiziği kavramlarına yönelik oluşabilecek yanlışların hızlı bir şekilde tanımlanabilmesi ve

düzeltilmesi yoluna gidilmiştir (Doğanay, 2007). Buna ek olarak kuantum fiziğinin olasılık, belirsizlik içeren yapısının ve klasik fizikle olan farklılıklarının net bir şekilde anlaşılabilmesi için grup tartışması ve sınıf tartışmaları ile kuantum fiziği kavramlarının, öğrenciler tarafından sorgulanması, analiz edilmesi ve anlamlandırılması amaçlanmıştır.

Kuantum fiziği matematiksel olarak güç olduğundan problem çözme yoluyla öğrencilerin kuantum fiziği kavramlarının matematiksel temellerini daha iyi anlamaları sağlanabilir. Problem çözme etkinlikleri, derse karşı olan ilgiyi, yüksek ve ileri düzeyde düşünmeyi, geliştirmektedir. Ayrıca problem çözme yoluyla öğrencileri, araştırma yapmaya, kaynakları tanımlamaya, öğrendiklerini birbiri ile paylaşmaya yönlendirecektir. Problem çözerek her şeyden önce öğrenciye kendi öğrenmesinin sorumluluğunu taşıma ve sonunda problemi çözerek bir şey elde etmiş olma fırsatı verilmiş olacaktır. (Açıkgöz, 2000). Bu amaçla araştırmada yer alan öğrencilere ders içinde çalışma yaprakları ile grupla problem çözme etkinliği, ders dışında ev ödevleri ile bireysel olarak problem çözme etkinliği sağlanmıştır. Ayrıca her ünite ile de problem oluşturma etkinliği gerçekleştirmeleri sağlanmıştır.

Alanyazında birçok öğretim yönteminin bir arada uygulandığı karma (hibrit) modellerle öğretimin etkililiğinin ortaya konulduğu çalışmalar vardır. Ramsier (2001) temel fizik dersi için aktif öğrenme stratejilerini birleştiren karma (hibrit) bir yaklaşım oluşturmuştur. Bu çalışmada sınıf içi ders anlatımı sınıf dışı takım projesi ve ev ödevi problemleri ile birleştirilmiştir. Uygulama sonucunda uygulamaya katılan 43 öğrenciden, 41'i kursu başarıyla tamamlamıştır. Bilal (2005) tarafından karma (hibrit) yaklaşımın lisans düzeyinde elektrostatik konusunun öğretiminin akademik başarıyı arttırdığı ortaya konulmuştur. Bu çalışmada sınıf içi ders anlatımı, grupla tartışma, problem oluşturma etkinlikleri ve gösteri deneyleri, sınıf dışı ev ödevi problemleri gibi farklı öğretim teknikleri uygulanmıştır.

Sonuç olarak bu araştırmada, kuantum fiziği belirsizlik ilkesinin, birçok öğretim yöntem ve tekniğinin bir araya getirilmesi sonucu oluşturulan karma (hibrit) bir yaklaşımla öğretimin öğrenci başarısına ve kalıcılığına etkileri araştırılmıştır.

1.2.2. Önem

Kuantum fiziği fizikte ve hatta genel olarak bilimde çok önemli konu alanlarından birisidir. Modern fiziği ve kuantum fiziğini anlamak, fizikçiler kadar, mühendisler, kimyacılar, psikologlar, iktisatçılar, hekimler ve diğer meslek kollarında çalışanlar için de büyük önem taşır. Bununla beraber kuantum fiziği soyuttur ve birçok konusunun anlaşılması oldukça zordur (Steinberg ve ark. 1999). Bu açıdan bu araştırma sonucunda ortaya çıkacak ürünler kuantum fiziği belirsizlik ilkesine yönelik olarak, lisans düzeyinde kuantum fiziği dersleri için bir kaynak oluşturabilecektir. Ayrıca diğer alanlarda çalışıp kuantum fiziğine ilgi duyan herkes bu çalışmada yer alan bulgulardan yararlanabilir.

Kuantum fiziği eğitime yönelik yapılan çalışmalar, fiziğin diğer alanlarında yapılan çalışmalara göre daha az sayıdadır (Singh, 2001). Klasik fiziğin aksine kuantum fiziği kavramları öğrencilerin günlük deneyimleri ile çok az ilişkilidir. Kuantum fiziği tarafından desteklenen bulguların öğrencilerin günlük hayattaki gözlemleri ile ilişkisi yoktur. Bu yüzden kuantum fiziği kavramlarının doğru bir şekilde ortaya konulabilmesi, klasik fizik kavramları ile kuantum fiziği dünyasının açıklanmaya çalışılmasını engelleyecektir. Bu yüzden kuantum fiziği kavramlarının öğretimi üzerine çalışmaların sayısının artması önemlidir.

Bu çalışma üniversite düzeyinde kuantum fiziği öğretimi ile ilgili bir çalışma olması açısından da ayrıca önemlidir. Çünkü alan yazında yer alan çalışmaların büyük çoğunluğu lise düzeyinde yapılan çalışmalardır (Ireson 1999 a; Ireson 1999 b; Johnson ve ark. 1998, Petri & Niedderer 1998; Roth 1995; Singh 2001; Taber 2004; Zollman ve ark. 2001).

1.3. Problem Cümlesi

Hibrit yaklaşımla ve geleneksel öğretimle yapılandırılmış Heisenberg'in belirsizlik ilkesi konusunun öğretiminin, lisans öğrencilerinin akademik başarıları, hatırdada tutma düzeyleri, öğrenme güçlükleri ve yanılgıları üzerindeki etkileri nelerdir?

1.4. Alt Problemler

1) Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesindeki başarı düzeyleri ile uygulama sonrasındaki başarı düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık var mı?

2) Deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesindeki başarı düzeyleri ile uygulama sonrasındaki başarı düzeyleri arasında anlamlı bir fark var mı?

3) Kontrol grubu ile deney grubundaki öğrencilerin uygulama öncesinde akademik başarıları arasında anlamlı bir fark var mı?

4) Kontrol grubu öğrencileri ile deney grubu öğrencilerinin uygulama sonrasında akademik başarıları arasında anlamlı bir fark var mı?

5) Kontrol grubu öğrencileri ile deney grubu öğrencilerinin uygulama sonrasında hatırdada tutma düzeyleri arasında anlamlı bir fark var mı?

6) Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesindeki yarı-yapılandırılmış görüşme sorularına verdikleri yanıtlarda ortaya çıkan yanılgıları ve öğrenme güçlükleri nelerdir?

7) Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama sonrasında yarı-yapılandırılmış görüşme sorularına verdikleri yanıtlarda ortaya çıkan yanılgıları ve öğrenme güçlükleri nelerdir?

8) Kontrol grubu öğrencilerinin yarı-yapılandırılmış görüşme sorularına verdikleri yanıtlarda ortaya çıkan uygulama öncesindeki yanlışları ve öğrenme güçlükleri ile uygulama sonrasındaki yanlışları ve öğrenme güçlükleri arasında ne gibi farklılıklar vardır?

9) Deney grubu öğrencilerinin yarı-yapılandırılmış görüşme sorularına verdikleri yanıtlarda ortaya çıkan uygulama öncesindeki yanlışları ve öğrenme güçlükleri nelerdir?

10) Deney grubu öğrencilerinin yarı-yapılandırılmış görüşme sorularına verdikleri yanıtlarda ortaya çıkan uygulama sonrasındaki yanlışları ve öğrenme güçlükleri nelerdir?

11) Deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesindeki yanlışları ve öğrenme güçlükleri ile uygulama sonrasındaki yanlışları ve öğrenme güçlükleri arasında ne gibi farklılıklar vardır?

12) Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin yarı-yapılandırılmış görüşme sorularına verdikleri yanıtlarda ortaya çıkan uygulama öncesindeki yanlış ve öğrenme güçlükleri arasında benzerlikleri nelerdir?

13) Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin yarı-yapılandırılmış görüşme sorularına verdikleri yanıtlarda ortaya çıkan uygulama sonrasındaki yanlış ve öğrenme güçlükleri arasındaki benzerlikler nelerdir?

1.5. Denenceler

1) Geleneksel öğretim yönteminin uygulandığı ders grubundaki öğrencilerin akademik başarıları ile hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin akademik başarıları arasında, araştırma öncesi anlamlı bir farklılık yoktur.

2) Geleneksel öğretim yönteminin uygulandığı ders grubundaki öğrencilerin akademik başarıları ile hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin akademik başarıları araştırma sonunda anlamlı düzeyde artmıştır.

3) Geleneksel öğretim yönteminin uygulandığı ders grubundaki öğrencilerin akademik başarıları ile hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin akademik başarıları arasında, araştırma sonunda hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin lehine anlamlı bir fark vardır.

4) Geleneksel öğretim yönteminin uygulandığı ders grubundaki öğrencilerin hatırd tutma düzeyleri ile hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin hatırd tutma düzeyleri arasında, araştırma sonunda hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin lehine anlamlı bir fark vardır.

5) Geleneksel öğretim yönteminin uygulandığı ders grubundaki öğrenciler ve hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrenciler uygulama öncesinde belirsizlik ilkesi ile ilgili ortak yanılgılara sahiptir.

6) Geleneksel öğretim yönteminin uygulandığı ders grubundaki öğrenciler ile hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin araştırma sonunda belirsizlik ilkesine yönelik yanılgılarında azalma vardır.

7) Hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders grubundaki öğrencilerin belirsizlik ilkesine yönelik yanılgıları geleneksel öğretim yönteminin uygulandığı ders grubundaki öğrencilere göre daha fazla giderilmiştir.

1.6. Sayıtlar

1) Araştırmada verilerin geçerlik ve güvenilirlik derecesi yüksektir.

Çünkü:

a) Araştırmada kullanılan “Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı” ve “Daga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu”nda yer alan sorular bir öğretim üyesinin inceleme ve düzeltmelerinden geçirilmiştir.

b) Araştırmada kullanılan “Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı” uygulama öncesinde, önceden kuantum fiziği almış bir grup öğrenciye uygulandı ve sınav kağıtları “Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği” yardımıyla değerlendirildi. “Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği”nin güvenilirliği istatistiksel yöntemlerle hesaplandı.

c) “Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı” ve “Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu”ndaki sorular kontrol ve deney grubuna uygulamadan hemen önce ve uygulamadan hemen sonra uygulanmıştır.

d) “Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı” uygulanırken kopya girişimlerini engellemek için gerekli önlemler alınmıştır.

2) Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde öğrenmeye karşı ilgileri eşittir.

Çünkü:

a) Birbirine benzer özellikler gösteren deney ve kontrol grupları örnekleme yoluyla seçilerek iki grup oluşturuldu. Şans yoluyla bu gruplar deney ve kontrol grubu olarak belirlendi.

3) Uygulama sonrasında deney ve kontrol gruplarının ön test son test puanları arasındaki fark uygulanan öğretim yöntemlerinden ileri gelmiştir.

Çünkü:

a) Her iki gruba aynı ders içeriği, aynı problemler uygulanmıştır. Yalnızca uygulanan yöntemler farklıdır.

b) Uygulamalar her iki gruba da araştırmacı tarafından yapılmıştır.

c) Uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi güvenilirliği ve geçerliliği yüksek bir dereceleme ölçeği aracılığıyla yapılmıştır.

4) Öğrenciler tarafından “Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği” ve “Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu”ndaki sorulara içtenlikle yanıt vermişlerdir.

Çünkü:

a) Öğrencilere soruları içtenlikle yanıtlamalarının gerekliliği sözlü olarak uygulamalardan önce yapılmıştır.

b) Öğrencilere bu sınavlardan ve görüşmelerden elde edilen bilgilerin isim belirtilmeden kullanılacağı ve bir not almayacakları belirtilerek, bu durumun doğuracağı etkiler ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

1.7. Sınırlılıklar

1) Çalışmada kullanılan çalışma metinleri, çalışma yaprakları ve ev ödevi problemleri araştırmacı tarafından kullanılan kaynaklardan elde edilen örnekler, problemlerle ve bilgilerle sınırlıdır.

2) Çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği üçüncü sınıfta öğrenim gören 36 öğrenciyle sınırlıdır.

3) Her iki gruba uygulanan etkinliklerin niteliği araştırmacının bilgi, yetenek ve tecrübesi ile sınırlıdır.

4) Uygulamalar sırasında kullanılan araç ve gereçler araştırmacının olanakları ile sınırlıdır.

5) Çalışmanın sonuçları veri toplama araçları ile sınırlıdır.

6) Çalışma üç haftalık bir uygulama süresi ile sınırlıdır.

1.8. Tanımlar

Kuantum Fiziği: Maddi evrende atomik boyutlardan meydana gelen tüm olayları nedenleri ve sonuçları ile araştıran, yasaları inceleyen fizik alanıdır.

y Dalga Fonksiyonu: Kuantum fiziksel sistemlerin fiziksel özelliklerinin olasılıklarını taşıyan, fiziksel anlamı olmayan matematiksel bir fonksiyondur.

Dalga Paketi: Farklı frekansa ve genliğe sahip dalgaların üst üste binmesi sonucu oluşan, uzayın belirli bir bölgesinde sınırlı dalga fonksiyonu dalga paketi olarak isimlendirilir.

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi: Birbirinin komütü olan operatörlerin temsil ettiği fiziksel büyüklükleri aynı deneyde son derece doğrulukla belirlemek olanaksızdır.

Hibrit (Karma) Yaklaşım: Öğretim yöntemlerinin öğrencinin ve konunun ihtiyaçlarına göre belirli bir düzen içerisinde birlikte kullanılması yoluyla elde edilen öğretim durumudur.

1.9. Kısaltmalar

DG: Deney Grubu

KG: Kontrol Grubu

BİKS: Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı

DPBİGF: Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu

KSDÖ: Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği

BÖLÜM 2

İLGİLİ YAYIN VE ARAŞTIRMALAR

Alanyazında kuantum fiziği ile ilgili olarak bu araştırmaya ışık tutan çalışmaları genel olarak, Kuantum Fiziği Temel Kavramları ile İlgili Araştırmalar ve Kuantum Fiziği Öğretimi ile İlgili Araştırmalar başlıkları altında sıralayabiliriz. Ayrıca araştırmada kullanılan öğretim yöntemlerini belirlerken yararlanılan farklı öğretim yöntemleri ile ilgili çalışmalara Fizik Eğitiminde Kullanılan Farklı Öğretim Yöntemleri başlığı altında yer verilmiştir.

2.1. Kuantum Fiziği Temel Kavramları ile İlgili Araştırmalar

Alanyazında kuantum fiziği kavramlarına yönelik çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Bu bölümde belirsizlik ilkesi ve belirsizlik ilkesi ile ilişkili olan kuantum fiziği kavramlarına yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Araştırmacı tarafından, bu araştırmanın başında Dalga Paketi kavramı ve Belirsizlik İlkesi'ne yönelik öğrencilerin öğrenme güçlükleri belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda belirlenen yanlışlar şu şekildedir: 1) Belirsizlik İlkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır. 2) Belirsizlik İlkesi ölçmedeki hatadan kaynaklanır. 3) Belirsizlik İlkesi mikroskobik parçacıkların çok hızlı hareket etmesinden kaynaklanır. 4) Δx mikroskobik bir parçacığın ölçülen iki konum değeri arasındaki farktır ve Δp_x parçacığın bu iki konum değerine karşılık olarak ölçülen momentum değerleri arasındaki farktır. 5) Δx mikroskobik parçacığın x yönünde aldığı yolun ortalama değeridir. 6) Δx ve Δp_x mikroskobik parçacığın konumu ile momentumunun ölçümünde yapılan hatadır (Özdemir ve Erol, 2008).

Steyley (1996) 1) Kuantum halleri, 2) Kuantum fiziğinde ölçme, 3) Özdeş parçacıklar, 4) Çok yönlü yanlışlar başlıkları altında kuantum fiziğinde 15 yaygın kavram yanlışısını tanımlamıştır. Fakat bu tanımlamalar herhangi bir ölçme aracıyla

toplanmış verilere dayanmadan öğretmenlik tecrübeleri sonucunda elde ettiği yanılgılardır. Bu çalışmada yer alan yanılgılar: 1) Dalga fonksiyonunun iki parçalıklı sistemler için karşılığı $\psi(x_1, x_2)$ altı boyutlu olmasına rağmen, $\psi(x)$ fonksiyonunun üç boyutlu konum uzayının bir fonksiyonu olduğun düşünülmesidir. 2) Dalga fonksiyonu boyutsuzdur. 3) Dalga fonksiyonu klasik sistemlerin grubunu tanımlar. 4) Ölçme işlemi ölçülen sistemi bozar: Bu yanılgının temelinde, kuantum fiziksel parçacıkların kesin belirli bir konum ve momentum değerleri olduğu düşüncesi yatar. Bir parçacığın konumunu ölçme işlemi parçacığın momentumunu değiştirir. Bu durum kuantum fiziğinin klasik fiziğinin belirlenebilirlik yaklaşımı ile açıklandığını ortaya koymaktadır. Styler bu yanılgının kaynağında Heisenberg'in gama ışını mikroskobu deneyinin yattığını ifade etmiştir.

Müller ve Wiesner (1999) fizik öğretmen adaylarıyla yaptıkları görüşmelerle, adaylarının atomun yapısı, belirsizlik ilkesi, olasılık fonksiyonu, olasılık yormu üzerine bilgi düzeylerini belirlemişlerdir. Bu araştırmanın bulgularına göre öğrencilerin %17'si atomun yapısını Bohr Atom Modelini kullanarak açıklarken, %24'ü ise atomun yapısını olasılık yorumuyla karışık bir Bohr Modeli ile açıklamışlardır. Bu tür öğrenci görüşlerinden yola çıkarak öğrencilerin atomun yapısına ilişkin gezegenlerin güneş çevresindeki hareketine benzer bir modele sahip oldukları belirtilmiştir. Bu çalışmanın diğer bir bulgusu ise elektronun konumuna yöneliktir. Elektronun konumuyla ilgili olarak öğrenciler elektronun kesin fakat belirlenemeyen bir konumu olduğu yönündeki görüşü en fazla paylaşmışlardır (%21). Δx ve Δp_x fiziksel anlamına yönelik olan soruya verilen yanıtlarda öğrencilerin büyük çoğunluğu belirsizlik ilkesinin ölçme hatası olduğu yönündeki görüşü paylaştığı görülmektedir (%15). Belirsizlik ilkesi ile ilgili olan diğer öğrenci görüşleri şu şekildedir: belirsizlik ilkesinde konum ölçümü parçacığın momentumunu değiştirir (%21), Δx yerleşme alanıdır (Dalga fonksiyonunun genişliğidir) (%18). Parçacığın momentumunun gerçek değeri Δp_x aralığında bir yerdedir (%18). Δx ve Δp_x istatistiksel dağılımın standart sapmasıdır (%13).

Fletcher ve Johnson (1999) öğrencilerin önceki yıllarda edindikleri bilgilerin kuantum fiziği öğrenirken ne derecede kullandıklarını belirlemek amacıyla

öğrencilere Fotoelektrik Etki, Belirsizliğin Anlamı, Dalganın Doğası ve Parçacıkların Enerji Düzeyleri konularını içeren dört soru yöneltmişlerdir. Sonuç olarak öğrencilerin %90'nının Belirsizlik İlkesinin önceki bilgilerinden bağımsız yeni bir kavram olduğunu bilmemekte olduklarını ortaya koymuşlardır. Buradaki temel problemin öğrencilerin yeni edindikleri bilgileri zihinlerinde yanlış yerlerde tutmakta ve günlük deneyimlerden elde ettikleri bilgilerinin bu durumun oluşmasında önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmada öğrencilerin %8'inin elektronun dalga şeklinde bir yörüngede ilerlediğini düşündükleri ortaya konulmuştur. Sonuç olarak öğrencilerin önceki derslerde elde ettikleri bilgileri kuantum fiziği dalga kuramını oluştururken kullanmakta olduklarını ortaya koymuştur.

Steinberg ve ark. (1999) kuantum fiziği öğreniminde klasik fizik kavramlarının etkilerini araştırmış ve mekanik dalgalar ve fizik optik konularının iyi düzeyde öğrenilmemesinin kuantum fiziği kavramlarının yanlış anlaşılmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Modern fizik ve kuantum fiziğinden önce, öğrencilere mekanik dalgalar ve fizik optik konularının anlatılması gerektiğini ve eğer dalgalar, dalgaların üstü üste binme ilkesi ve girişim konuları öğrenciler tarafından anlaşılabilirse, kuantum fiziği kavramlarının anlaşılacağına belirtmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca öğrencilerin yarısından fazlasının ışığın dalga kuramına yönelik kabul edilebilir bir model geliştiremedikleri görülmüştür. Yine öğrencilerin yarısına yakını ışığın genliğinin uzaysal olduğu belirtmiştir. Birçok öğrenci ışığın tek yarıktan kırınımını açıklarken yarıktan geçen dalgaların ya yarıktan sığıldığını ya da sığmayacağını vurgulamıştır. Işık dalgalarını uzaysal olarak düşünen grubun ışığın dalga yapısını öğrenirken, fotonların sinüzoidal bir yolda ilerlediği yönündeki görüşü savundukları gözlenmiştir.

Bilal ve Erol (2007) Dalga Fonksiyonu, Schrödinger Dalga Denklemi ve Dalga Parçacık İkilemi kavramlarına yönelik öğrencilerin yanlış anlamalarını belirlemek için iki farklı okuldaki öğrencilere uyguladıkları kavram testi sonuçlarına göre öğrencilerin dalga fonksiyonu ve dalga fonksiyonunun olasılık kavramıyla olan ilişkisini anlayamadıkları görülmüştür. Yine aynı çalışmada öğrencilerin fotonun ikili

yapısını kabul ederken, elektronunun ikili yapısını anlamakta güçlük çektikleri belirtilmiştir. Elektronu parçacık şeklinde çizerlerken, fotonu hem dalga hem de parçacık yapısını içeren bir çizimle göstermişlerdir.

Mashadi ve Woolnough (1999), lise öğrencilerinin elektron ve foton hakkındaki zihinsel modellerini belirlemek için yarı yapılandırılmış görüşme formları ile görüşmeler yapmışlardır. Bu görüşmeler sonucunda öğrencilerin elektron ve fotonu ile ilgili bir zihinsel model oluşturmaya oldukça yatkın olduklarını görmüşlerdir. Öğrencilerin büyük bir çoğunluğun elektronu bir çeşit parçacık, fotonu ise parlak küresel bir parçacık olarak düşündükleri belirlenmiştir. Ayrıca bu araştırmada birçok öğrenci elektronun ikili yapısını bilmelerine rağmen, hala elektronu küçük parlak bir top olarak nitelendirmekte oldukları ve bu eğilimin temelinde geçmiş bilgilerinin bulunduğu ortaya konulmuştur. Araştırma sonucunda kuantum fiziği kavramları ile klasik fizik kavramlarının zihinsel modelleri arasındaki ayrımı ortaya koyacak yeni öğretim programları ve yeni öğretim yaklaşımları geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Olsen (2002) dalga parçacık ikilemini öğrenmiş öğrencilerin elektron ve fotonun yapısı ile ilgili görüşlerini belirlemiştir. Elde edilen sonuca göre elektron ve fotonun yapısının anlaşamadığı görülmüştür. Bu kavramların anlaşılmasının altında yatan nedenin klasik fizik olduğu ve alanyazında yer alan birçok çalışmada olduğu gibi dalga parçacık ikileminin öğrencilerin kuantum fiziği kavramlarını öğrenmelerinde çok etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bethge ve Niedderer (1996) nitel ve nicel veri toplama araçları kullanarak, öğrencilerin kuantum fiziği dersi almadan önce ve aldıktan sonra kuantum fiziği kavramlarına yönelik modellerini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Bu araştırmanın bulgularına göre; öğrencilerin büyük bir bölümü atoma bağlı bir elektronun olasılığını kabul etmelerine rağmen klasik parçacıklar için kullanılan orbital kuramını kullanmayı sürdürmüşlerdir.

Wittmann ve ark. (2002) öğrencilerin katıların iletkenlikleriyle ilgili birçok modele sahip olduklarını belirtmişlerdir. Fakat yarattıkları bu modellerin serbest elektronların iletkenlik oluşturmaları ile ilgisi olmadığı gibi yanlış tahminlere ve çelişkili yanıtlara da neden olduğu belirtilmiştir.

2.2. Kuantum Fiziği Öğretimi ile İlgili Araştırmalar

Kuantum fiziği öğrenilmesi güç bir fizik alanı olduğu için kuantum fiziğinin daha etkili öğrenimi için önerilerin yer aldığı çalışmalara alanyazında sıkça rastlanmaktadır.

Ireson (1999 a) üniversite öğrencilerinin kuantum fiziği kavramlarına ilişkin yaşadıkları güçlükleri belirlemiştir. Bu araştırmadan elde edilen bulgular arasında öne çıkan öğrenci görüşleri şu şekildedir: 1) Işık daima dalgadır. 2) Elektron daima dalgadır. 3) Elektron çekirdeğin çevresinde dalgalı bir yörünge boyunca ilerler. 4) Hiç kimse bir elektronun çekirdek çevresindeki yerini kesin olarak belirleyemez. Çünkü elektronlar çok hızlı ve çok küçüktür. 5) Elektronlar çekirdeğin çevresinde belirli bir yörüngede dolanırlar. Bu çalışmadan elde edilen bulgular ışığında öğrencilerin kuantum fiziği kavramlarını daha iyi öğrenebilmeleri için bazı önerilerde bulunulmuştur. 1) Klasik fiziğini temel alarak kuantum fiziği kavramlarını açıklama yoluna gidilmemelidir. 2) Kuantum fiziği öğretimi sırasında kuantum fiziği grup yorumu (istatistiksel yorum) kullanılmalıdır. Kuantum fiziksel parçacıkların ikili yapısından söz etmekten uzak durmak gerekir. 3) Kuantum fiziği öğretimi sırasında Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi'nin ilk bölümlerde anlatılması gerekir. 4) Bohr atom modeli ile hidrojen atomunun yapısının açıklanmasından uzak durulması gerekir.

Abhang'ın (2005) öğrencilerin klasik fizik öğretiminden elde ettiği oldukça inandırıcı kanıtlanabilir kavramları ile kuantum fiziğinin belirsizlik ve olasılık içeren kavramlarının öğrenilmesinin güç olduğunu vurgulamıştır. Kuantum fiziğinin daha etkili öğrenilebilmesi için bir dizi öneride bulunmuştur: 1) Kuantum fiziğini somutlaştırmanın en iyi yolu klasik fizik yasalarının limit durumlarını almakla olur.

2) Kuantum fiziğinin anlaşılır hale getirilmesi için düşünce deneylerine başvurmak gerekir. 3) Kavramları ayrı ayrı anlatmak yerine aralarındaki mantıksal bağı belirterek anlatmak önemlidir. Bu durum kuantum fiziğinin temel prensiplerini ortaya çıkaracaktır. 4) Kuantum fiziğinin ilginç hale getirilmesi de önemlidir. Kuantum fiziğini oluşturan bilim adamlarının kuantum fiziğini oluşturma süreçlerini bilirsek kuantum fiziğini daha ilginç hale getirebiliriz. Kuantum fiziğinin doğuşuyla ilgili olaylar öğrencilerin ilgisini uyandıracaktır. 5) Öğrencilerin bugün yaşanan bilimsel gelişmelerle kuantum fiziğinin ilişkisini görmelerini sağlamak kuantum fiziğini daha anlaşılır kılacaktır.

Akarsu (2007) kuantum fiziği öğretimini güçleştiren etkenleri ve öğretimindeki kaliteyi artırmak için A.B.D.'de 5 farklı fizik öğretim üyesiyle ve 43 üniversite öğrencisiyle görüşme yapmıştır. Bu araştırmanın bulgularına göre kuantum fiziği öğretimini güçleştiren etkenler şunlardır: 1) Kuantum fiziğinin karmaşık matematiksel altyapısı, 2) Soyut ve birbirine paralel olmayan kavramları, 3) Kuantum fiziğinin kötü ününün kuantum fiziğine karşı önyargıya sebep olması, 4) Kuantum fiziği öğretim programının oldukça hızlı işleniyor olması. Yine bu çalışmada kuantum fiziği kavramlarının daha etkili öğretimi için öğretim üyelerinin önerisi ise şu şekildedir: 1) Soyut kavramların öğrenilebilmesi için, bu kavramları içeren problemlerin çözülmesi gerekir. 2) Kuantum fiziği öğretimi sırasında bolca problem çözmek gerekir. 3) Öğretim programında değişikliğe gidilmesi gerekir.

Lee (2006) kuantum fiziği ölçme kavramını irdelemiştir. Bu çalışmada ölçme sonucu elde edilen değer, parçacığın ölçümden önceki durumunu ortaya koyuyorsa, geçmişle ilgili (retrospectively); ölçümden sonraki durumunu ortaya koyuyorsa beklenen, umulan ya da ileriye dönük bilgi veren (prospectively) bir ölçüm değeri olarak ifade edilmiştir. Bir ölçüm değeri birçok özdeş parçacıktan elde edilmişse çoklu (collectively) ölçüm, tek bir parçacıktan elde edilmişse tekli (individualistically) ölçüm olarak adlandırılır. Bu kavramların kuantum fiziği için önemli kavramlar olduğunu vurgulanmıştır. Kuantum fiziği Kopenhag yorumu, bireysel (individualistically)/ geleceğe yönelik (prospectively) ölçümü deneysel olarak yasaklamış durumdadır. Fakat çoklu (collectively)/ geçmişle ilgili

(retrospectively) ölçüm kuantum fiziği için zorunludur. Bu durum kuantum fiziği kavramlarının öğrenilebilmesi için ölçme kavramının önemini ortaya koyar.

Aylward (2006) kuantum fiziğinin belirlenemezlik içeren yapısını açıklayabilmek için bazı yorumlar öne sürüldüğünü belirtmiştir. Bu yorumlardan en tutarlı açıklamalar getiren yorumun grup yorumu (ensemble interpretation) olduğunu belirtmiştir. Bu yorumunun Kopenhag yorumu gibi çelişkiler içermediğini belirttiği gibi grup yorumunda kuantum fiziksel parçacıklar için tanımlanan hallerin (durumların) tek bir kuantum fiziksel parçacığı temsil etmediği bir grup kuantum fiziksel parçacık için tanımlandığını ifade etmiştir. Ayrıca bu yorumun dalga fonksiyonunun çökmesi, dalga parçacık ikilemi, kuantum fiziğinde bir parçacığın aynı anda birçok yerde olması durumunu ortadan kaldırdığını belirtmiştir. Bu durum kuantum fiziği öğretiminde istatistiksel yorumun önemini ortaya koymaktadır.

Troncoso ve Chrobak (2000) kuantum fiziği dersi almış öğrencilerle yaptıkları görüşmelerde öğrenciler tarafından klasik fiziğin belirlenebilirlik içeren yapısına ters olması, garip, akademik ve şiirsel bir ismi olmasından dolayı Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinden diğer kuantum fiziği konularına göre daha fazla söz etmekte olduklarını belirlemiştir. Fakat bu ilke ile ilgili bilgilerinin sınırlı olduğu ortaya konulmuştur. Görüşme yapılan öğrencilerin büyük bir kısmı, teknoloji yeterince olgunlaşırsa, elektronun ve diğer kuantum fiziksel parçacıkların kesin olarak konum ve momentumunun belirlenebileceğine inanmakta oldukları görülmüştür. Bu çalışmada öğrencilerden zamandan bağımsız Schrödinger Dalga Denklemini yazmaları istenmiş fakat hiçbir öğrenci doğru yazamadığı gibi bu denklemlerle ilgili olarak fiziksel bir yorum da getirememişlerdir. Bu durumun sebebi olarak kuantum fiziği öğretimi sırasında dalga fonksiyonunun fiziksel anlamı üzerinde durulmaması bunun yerine matematiksel işlemlere gidilmesi gösterilmiştir.

Pospiech (2000) kuantum fiziğinin daha etkili olarak öğretilebilmesi için dalga parçacık ikilemi ve belirsizlik kavramının anlaşılması gerektiğini belirtmiştir.

Kuantum fiziği dersi anlaşılması güç olduğu kadar, öğretilmesi de güç bir konu alanına sahiptir. Bu yüzden öğreticinin dersle ilgili neleri yapması ve nasıl bir tutum içinde olması gerektiğini ve dersin daha anlaşılır, daha etkili öğretilmesi için, öğrencilerin nasıl ve ne şekilde öğrendiği üzerinde de düşünerek, derste ne tür etkinliklerin yapılabileceğinin üzerinde yoğun olarak durması gerekir (Çalışkan, 2007). Fizik eğitiminde kuantum fiziği çalışmalarının sayısı hızlı bir şekilde artmaktadır. Kuantum fiziği eğitiminin niteliğini arttırmak için birçok kurs düzenlenmiştir.

Müller ve Wiesner (2002) kuantum fiziğinin kavramsal öğretimini temel alan bir kurs tasarlamışlardır. Kuantum fiziği kavramlarının daha iyi öğrenilebilmesi için foton ve elektron olmak üzere iki bölümden oluşan ve Mach-Zehnder interferometresi, Polarizasyon Deneyleleri ile Elektronların Çift Yarıktaki Kırınımı gösteri deneyleleri ile zenginleştirilmiş bir içerik tasarlanmıştır. Bu kursta öğrencilerin klasik fizik ile kuantum fiziği kavramlarının farklılıklarını keşfetmeleri sağlanmaya çalışılmıştır. Veri toplama araçları olarak, kuantum fiziği kavramları ölçeği, öğrencilerle yapılan görüşmeler ve kuantum fiziği ilgi ölçeği kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre kurs sonunda öğrencilerin büyük bir kısmının kuantum fiziği kavramlarını doğru bir şekilde öğrendikleri ortaya konulmuştur.

Niedderer ve ark. (1999) lise düzeyinde kuantum fiziği öğretimi için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımın öne çıkan özellikleri şu şekildedir. 1) Bohr Atom Modelinden Schrödinger Dalga Denklemine kuantum fiziğinin matematiksel boyutu üzerine değil fiziksel anlamı üzerinde duruldu. 2) Kuantum fiziği öğretilirken matematiğin oranı azaltılmıştır. Dalga fonksiyonu ve bu fonksiyonun olası halleri benzetimden yararlanarak açıklanmıştır. Buna ek olarak Schrödinger eşitliğini modellemek için bilgisayar kullanılmıştır. 3) Kuantum fiziği modellerini güçlendirebilmek için kuantum fiziğinin atom fiziği, kimya ve katı hal fiziğindeki uygulamalarından yararlanılmıştır. 4) Her ünitenin başında uyum sağlama çalışmaları yapılarak öğrencilerin kavramsal öğrenmelerinde gelişme sağlanmaya çalışılmıştır.

Bu şekilde yapılandırılmış bir öğretim yaklaşımının öğrencilerin orbital, elektron bulutu, kuantum fiziği hal ve kabuk kavramlarının öğreniminde artış sağladığı ayrıca bu yaklaşım yoluyla öğrencilerin orbital kavramı üzerine kabul edilebilir bir model oluşturabildikleri ortaya konulmuştur. Uygulama sonucu elde edilen bulgulardan şu genellemeye varılabilir: Öğrencilerin çoğunun kuantum fiziği kuramsal yapısı hakkında çok iyi bir anlama düzeyine ulaşması mümkün olmamasına rağmen kuantum fiziğinin temel kavramları hakkında kabul edilebilir düzeyde ilerleme sağlamaları mümkündür.

Bergström ve ark. (2001) kuantum fiziği kavramlarının öğretime yönelik bir kurs tasarlamışlardır. Bu kursta, dalga fonksiyonunun kuramsal keşfi, olasılık dalgaları, dalga parçacık ikilemi, atomun yapısı, Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi, Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin uygulamaları yer almıştır. Elektronun dalga yapısını elektronun kırınımı deneyiyle, kuantum fiziksel sistemlerin yapısını klasik dalga deneyleri kullanarak açıklamışlardır. Bu çalışmanın uygulaması Stokolm üniversitesi laboratuvarında öğrenciler ve halktan izleyicilerin katılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Johanson ve Milstead (2008) kuantum fiziği belirsizlik ilkesinin kuantum fiziğindeki öneminden söz ettikten sonra sınıf ortamında bu kavramın etkili öğretimi için çeşitli uygulamalar önermişlerdir. Bu çalışmada belirsizlik ilkesinin tek yarıta kırınım deneyi kullanılarak anlatılmasının belirsizlik ilkesinin anlaşılmasını arttıracığı belirtilmiştir. Belirsizlik ilkesinin deneysel sonuçları açıklanmıştır. Örneğin bir parçacığın 0 K' de sıfır noktası enerjisine sahip olması gerektiği belirsizlik ilkesinden yararlanarak açıklanmıştır. Böylece belirsizlik ilkesinin uygulamaları ortaya konularak bu ilkenin kullanım alanları hakkında bilgi verilmiş olmaktadır. Bu çalışmada sınıf ortamında kuantum fiziği belirsizlik ilkesinin öğretimi için şu önerilerde bulunulmuştur: Işığın kırınımı okullarda kolaylıkla gösterilebilir. Işığın kırınımı deneyi yoluyla Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi tartışılabilir. Enerji ve zaman arasındaki belirsizliği ifade ederken CERN eğitim programında yer alan Z_0 parçacığını açıklamak için kullanılan elektron pozitron çarpışma ölçümlerinden elde edilen Z kütlesi ölçüm değerlerinden yararlanılabilir.

Ayrıca Nükleer Bozulma, Engel Sızması, Parçacık Bozulması, Parçacık Değişim Mekanizmaları, Çekirdeğin a bozunması gibi konularının öğrenilebilmesi için Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin iyi bilinmesi gerektiği belirtilmiştir.

Kopman, ve ark. (2005) kuantum fiziği kursu ve kuantum kimyası kursu düzenlemişlerdir. Bu kurslardan elde ettikleri izlenimlerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada klasik fiziğin kuantum fiziği kavramlarının öğretiminde bir engel olduğu belirtilmiştir. Dört haftalık uygulama sırasında bir öğrenci, Bohr istatistiksel yorumunu tanımlayabilmesine rağmen kuantum fiziksel bir parçacığın yörüngesini kesin olarak belirleyecek bir fonksiyonun tanımlanabileceğini ifade etmiştir. Bu öğrenci kuantum fiziğini belirlenebilir (determinist) bir yaklaşımla açıklamaya çalışmaktadır. Belirleyici yaklaşım öğrencilerin kuantum fiziği problemlerini çözmeleri açısından bir engel oluşturmaktadır. Bu kursa katılan öğrencilerden belirsizlik ilkesinin tanımını yapmaları istendiğinde, öğretmenin derste yaptığı tanımları yapabildikleri fakat arkasından, konum ve momentumun tam bir şekilde ölçülebilmesinin mümkün olduğunu belirttikleri ifade edilmiştir. Ayrıca öğrencilere kuantum fiziksel bir parçacığın konum ve momentumunu öngörebilmemizin mümkün olup olmadığı sorulduğu zaman, öğrencilerin olumlu yanıt verdikleri fakat arkasından bu durumun Heisenberg'in Belirsizlik İlkesine aykırı olduğunu belirttikleri ifade edilmiştir. Sonuç olarak Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin öğrencilerce anlaşılmasının önemli olduğu ifade edilmiştir. Çünkü kuantum fiziği belirlenemezlik içerir. Bu kursta ortaya çıkarılan bir başka nokta ise kuantum fiziksel parçacıklara yönelik öğrencilerin zihinsel modelleridir. Bu kurs sırasında öğrencilerden gelen sorular kuantum fiziği kavramlarının, hesaplamaların ve bağıntılarının anlamlarının anlaşılmasının ne kadar güç olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin bir parçacığının olasılık dağılımı tartışılırken kuantum kimyası sınıfından bir öğrenciye çekirdeğin çevresinde dolanan bir elektronun nerede bulunma olasılığı sıfırdır? Şeklinde bir soru yöneltilmiştir. Bu soruya verilen yanıttan bir çekirdeğin çevresinde dolanan elektronun öğrenci tarafından atomun çevresinde dolanan bir dalga şeklinde tanımlandığı ifade edilmiştir.

Fischler (1999) bir kuantum fiziği öğretim kursu geliştirmiştir. Klasik fizik kavramlarına dayanan tüm benzetimler bu kursun kapsamı dışında tutulmuştur. Uygulama sırasında kontrol grubuna dersler geleneksel yöntemle anlatılırken, deney grubuna Bohr atom modelini temel almayan bir yaklaşımla yapılmıştır. Kursun sonunda deney grubu öğrencilerinin, kontrol grubu öğrencilerine göre daha başarılı oldukları ortaya konulmuştur.

Euler ve ark. (1999) fizik öğretmen adaylarının kuantum fiziği kavramlarını anlama düzeylerini belirlemek için uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında deney ve kontrol grubu öğrencilerine açık uçlu ve evet hayırlı sorular yöneltilmişlerdir. Bu yolla her iki grubun kuantum fiziği kavramları yönünden homojen dağılmış olduğunu belirlemişlerdir. Deney grubuna dersler Thomson modeli, Bohr modeli, kuantum kuramı ve bu kuramın tarihsel ve felsefi açılımlarını içerecek şekilde anlatılmıştır. Son test sonuçlarına göre deney grubu öğrencileri kontrol gurubu öğrencilerine göre %40 oranında sorulara daha doğru yanıtlar vermişlerdir.

Zollman (1999) ve araştırma grubu kuantum fiziği öğretimi için bilgisayar ve laboratuvar temelli öğretim materyalleri geliştirmişlerdir. Bu materyaller sınıf ortamında uygulanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre bu yolla kuantum fiziği kavramlarının daha iyi derecede öğrenildiği ortaya konulmuştur.

Maine Üniversitesinde Redish (2008) ve araştırma grubu görsel araç gereçler, problemler ve bir grup öğreticinin içerisinde yer aldığı bir kurs geliştirdiler. Bu çalışma sonucunda öğrencilerin sınırlı matematik bilgisine rağmen kuantum fiziği kavramlarını anlayabildikleri ortaya konulmuştur.

Günel ve ark. (2006) farklı öğrenme formatlarının kavramsal anlamaya olan etkisini araştırmışlardır. Öğrenciler konuları, matematiksel işlemleri, grafik ve resimleri power-point sunu formatında (PowerPoint presentation) ve özet raporu (Chapter Summary) formatında her ünite bitiminde sunmuşlardır. Bu çalışmayla Power-point sunu formatının kavramsal öğrenmede daha büyük yarar sağladığı

ortaya konulmuştur. Bu çalışmada fotoelektrik olay ve Bohr atom modeli üniteleri temel alınmıştır. Ayrıca öğrencilere geliştirilen dereceleme ölçeği dağıtılarak sunuların bu ölçüte göre hazırlanması sağlanmıştır.

Çalışkan (2002) kuantum fiziği harmonik osilatör konusunun öğretimine yönelik taslak bir öğretim programı geliştirmiştir. Taslak program çerçevesinde konunun içerik analizi yapılmış ve kazandırılmak istenilen hedef ve davranışlar yazılmış ve bu davranışların öğrencilerce kazanılabilmesi için uygun öğrenme fırsatları hazırlanmıştır. Hazırlanan öğretim programı tasarısı 17 kişilik deney grubuna uygulanmıştır. Sonuç olarak görsel araç gereçlerle güçlendirilmiş kuantum fiziği öğretim programının öğrenci başarısını arttırdığı ortaya konulmuştur.

Robblee ve ark. (1999) lise öğretmenlerinin kuantum fiziği kavramlarını sınırlı düzeyde bildiklerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca bu çalışmada kuantum fiziğinin bilgisayar teknolojisinden yararlanarak öğretmenin kuantum fiziği kavramlarını anlama düzeylerini artırdığını ortaya koymuşlardır. Benzer bir çalışma kuantum kimyası eğitiminde gerçekleştirilmiştir (Charles ve ark. 1999).

Rebello ve Zollman (1999) geliştirdikleri görsel materyalleri bilgisayar yardımıyla lise öğrencilerine uygulamışlardır. Potansiyel enerji, bir atomun enerji diyagramı, bir atomun enerji spektrumu, katılar için enerji bantları, dalga fonksiyonu ve olasılık kavramı, tünel olayı kavramlarını içeren bu çalışmada, kavram haritaları ve öğrenci görüşleriyle bilgi toplanmıştır. Uygulama sonunda öğrencilerin bazı kavramlar dışında bu konulara ilişkin yanlışlarının azaldığını ortaya koymuşlardır.

2.3. Fizik Eğitiminde Kullanılan Farklı Öğretim Yöntemleri

Düz anlatım yönteminin dinleyicileri pasif durumda bırakması, öğrencilerin derse katılımının yalnızca not alma ya da dinleyerek sağlanması gibi nedenleri ileri sürerek karşı çıkılmış olmasına rağmen, araştırmalar anlatımın diğer yöntemlerden daha etkili olduğu durumları da ortaya çıkarmıştır.

Örneğin hatırd tutma üzerine tartışma yöntemi anlatmaya göre daha etkili iken, bilgi edinmede düz anlatım ya tartışmaya eşittir ya da ondan daha üstündür (Açıkgöz, 2003).

Gagne ve Berliner (1984) in açıklamalarına göre 1975 yılında yapılan düz anlatım ve tartışma yöntemlerinin başarıya etkisini kıyaslayan bir araştırmanın sonuçlarına göre düz anlatımın üstün olduğu 12, düz anlatımın ve tartışmanın eşit olduğu dört ve tartışma yönteminin üstün olduğu beş sınav belirlenmiştir.

Bağcı ve Şimşek (1999) tarafından fizik öğretmenlerinin uyguladıkları farklı öğretim yöntemlerinin öğrenci başarısına etkileri araştırılmıştır. Karşılaştırılan yöntemler bireysel deney, bulmaca, soru yanıt, düz anlatım ve tartışmadır. Araştırma aynı öğretmen tarafından okutulan gelişi güzel seçilen 350 ortaöğretim öğrencisi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre düz anlatım ve soru yanıt grupları ile tartışma ve soru yanıt gruplarının fizik başarıları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bununla birlikte bireysel deney ve bulmaca, bireysel deney ve düz anlatım, bireysel deney ve tartışma, bireysel deney ve soru yanıt, bulmaca ve düz anlatım, bulmaca ve tartışma gruplarının fizik başarıları arasında ilk gruplar lehine anlamlı bir üstünlük olduğu ortaya konulmuştur.

Ramsier (2001) tarafından Akron Üniversitesi'nde temel fizik dersi için aktif öğrenme stratejilerini birleştiren hibrit bir yaklaşım oluşturulmuştur. Öğrencilerin okula devamsızlığının fazla oluşu göz önünde bulundurularak sınıf içi ders anlatımı ve problem çözümü, sınıf dışı takım projesi ve ev ödevi problemleri ile birleştirilmiştir. Çalışma sonrası 43 öğrenciden yalnız ikisinin kursu bitiremediği, öğrencilerin kendilerine dağıtılan anketlerde verdikleri yanıtlardan da grup çalışmalarının, sınıf içi problem çözme etkinliklerinin yararlı olduğunu düşündükleri ve yaptıkları takım projesi çalışmasının da fiziğe yönelik, ilgi merak ve bilgi edinme isteklerini arttırdığını belirttikleri saptanmıştır. Ayrıca öğrenciler tarafından yapılan takım projeleri pek çok kurum tarafından ödüllendirilmiştir.

Aktif öğrenme stratejilerinin bir araya getirildiği benzer bir çalışma Bilal (2005) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla düz anlatım, tartışma, gösteri ve problem çözme yöntemlerinin birleşimiyle oluşan karma (hibrit) yaklaşım lisans düzeyinde elektrostatik konusunun öğretiminde etkili olduğu ortaya konuldu.

Kaptan ve diğerleri (2002) tarafından yapılan bir çalışmada düz anlatım ve problem çözme yöntemlerinin kalıcılığa ve öğrencilerin erişim düzeyine etkisi saptanmıştır. Araştırma ilköğretim okulu 6. sınıfta öğrenim gören 70 öğrenci üzerinde fen bilgisi dersinde yürütülmüştür. Her iki gruba uygulanan başarı ön ve son testlerinin t- testi analizi sonuçlarına göre erişim açısından gruplar arasında anlamlı bir farka rastlanmazken; kalıcılık boyutunu ölçen hatırlama testi sonuçlarına göre problem çözme yönteminin kalıcılığa etkisi olduğu bulunmuştur. Problem çözme yönteminde cinsiyet farklılıklarının kalıcılığa ve öğrencilerin erişim düzeylerine belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür. Ayrıca problem çözme yönteminin fen bilgisi dersine karşı tutumları arttırdığı gözlenmiştir.

Selçuk ve diğerleri (2004) tarafından yapılan bir araştırmada fizik öğretmen adaylarının kullandıkları problem çözme stratejilerinin cinsiyet ve sınıf düzeyi ile ilişkisinin saptanması amaçlanmıştır. Bütün sınıf düzeyinden 141 öğrenci ile çalışılmıştır. Kullanılan problem çözme stratejileri ölçeğinden elde edilen veriler incelendiğinde problem çözme stratejilerinin kullanımı bakımından kız öğrenciler lehine istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu saptanmıştır. Sınıf düzeyi arttıkça problem çözme stratejilerinin daha sık kullanıldığı ortaya çıkmıştır.

Duch (1995) tarafından işbirlikli gruplarla problem çözme çalışmaları yapılmıştır. Öğrencilerle altışarlı gruplarla gerçek hayat problemleri çözülmüştür. Öğrencilerde, grupla fizik problemi çözme çalışmalarının problem için birden fazla yolu görebilmelerinde, bilgisini nasıl kullanacağını kavrayabilmesinde, gerçek hayat problemlerini sınıf ortamında görebilmelerinde yardımcı olduğu vurgulanmıştır. Araştırmacı ise uygulanan problem çözme tabanlı grup çalışmasının derse katılımı son derece arttırdığını belirtmektedir.

Mul (2004) bazı matematiksel becerilerinin eksik oluşu nedeniyle üniversite birinci sınıf öğrencilerine fizik öğretmenin zor olduğunu belirtmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için araştırmacı tarafından matematikle bütünleştirilmiş fizik problemlerini çözüme çalışmaları yapılması gerektiği önerilmektedir.

BÖLÜM 3

YÖNTEM

Bu bölümde araştırma modeli, araştırmanın denekleri, veri toplama araçları, deney deseni, araştırmada izlenen işlem yolu, denel işlemler, öğrenme malzemeleri ve veri çözümleme teknikleri açıklanmıştır.

3.1. Araştırma Modeli

Bu araştırmada yarı deneme modellerinden biri olan eşitlenmemiş kontrol gruplu ön test-son test araştırma modeli kullanılmıştır (Karasar, 2000). Araştırma benzer nitelikte olmalarına özen gösterilmiş ve yansız bir seçimle belirlenmiş, bir deney ve bir kontrol olmak üzere iki grup üzerinde yürütülmüştür.

Model 2007–2008 öğretim yılı, güz yarıyılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği 3. sınıf öğrencilerinin ikiye bölünmesinden oluşan iki grup öğrenciye uygulanmıştır.

3.2. Denekler

Bu araştırma 2007–2008 eğitim-öğretim yılı güz yarıyılında Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Anabilim Dalı'nın 3. sınıfında öğrenim görmekte olan 36 öğrenci üzerinde yürütülmüştür. Fizik Eğitimi Anabilim Dalı ÖSS sınav sonuç sistemine göre yerleştirilmiştir. Sınıfın doğal yapısını korumak amacıyla Kuantum fiziği dersine kayıtlı tüm öğrenciler araştırmaya alınmıştır. Araştırmada Fizik Eğitimi Anabilim Dalı'nın 3. sınıfında öğrenim gören 36 kişi rasgele iki gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan birisi deney grubu diğeri ise kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Katılımları sağlanmamış olmakla birlikte, devamsızlık

nedeniyle ön veya son ölçümleri alınamayan, denel işlemler sırasında devamsızlık yapan öğrencilerden elde edilen veriler veri çözümlenmesi sırasında dikkate alınmamıştır.

Deneklerin cinsiyetlerine göre dağılımı Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1
Deneklerin Cinsiyete Göre Dağılımları

Cinsiyet	Deney Grubu	Kontrol Grubu
Bayan	14	13
Erkek	4	5
Toplam	18	18

3.3. Veri Toplama Araçları

Bu araştırmada veriler, “Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu” ve “Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı” ile toplanmıştır.

3.3.1. Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF)

Bu çalışmada açık uçlu sorularla öğrencilerin kavram yanılgıları belirlenmeye çalışılmıştır. Açık uçlu soruların analizinde çok sayıda ve çok çeşitli yanıt sistematik bir şekilde ve bilgi değerini arttırarak sunulur. Elde edilen veriler en iyi şekilde nitel yöntemlerle, özellikle yanıtını özetleyerek ve ilişkilerine göre guruplara ayırarak analiz edilebilir. Ayrıca açık uçlu sorular öğrencinin düşünme sürecini keşfetmeyi ve kavramları nasıl anladığı hakkında daha derin bir görüşe sahip olmayı sağladığı için (Glazar & Vrtacnik, 1992) araştırmalarda sıkça kullanılır.

Kuantum fiziği kavramları ile ilgili yanılgıları ve öğrenme güçlüklerini belirlemek için de nitel yöntemlere sıkça başvurulduğu görülmektedir (Mashhadi ve Woolnough, 1999; Müller ve Wiesner, 2002; Niedderer ve ark. 1999; Fischler, 1999

; Euler ve ark. 1999; Bethge & Niedderer, 1996; Wittmann ve ark., 2002; Steinberg ve ark. 1999; Akarsu, 2007). Bu araştırmada Fischler (1999)'nin yapmış olduğu araştırmanın yöntemi örnek alınmıştır. Fischler araştırmasında kuantum fiziği temel kavramlarına yönelik öğrencilerin gösterdikleri gelişmeyi takip edebilmek amacıyla uygulama öncesi ve uygulama sonrasında deney ve kontrol grubu öğrencileri ile başka ölçme araçlarıyla birlikte görüşme yoluyla bilgi toplamış ve grupların uygulama öncesi yanıtlarının yüzdeleri ile uygulama sonrası yanıtlarının yüzdeleri arasındaki değişimi incelemiştir. Bir başka araştırmada da Niedderer ve ark. (1999) öğrencilerin kuantum fiziği kavramlarındaki değişimini incelemek için benzer bir yöntem kullanmıştır.

Bu araştırmada da öğrencilerin Kuantum Fiziği Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi ile ilgili uygulama öncesi öğrenme güçlükleri ve yanılgılarını ve uygulama sonrasında bu yanılgıların giderilme durumunu belirleyebilmek için nitel veri toplama yöntemi kullanılmıştır.

Nitel araştırmanın kapsamlı bir tanımını yapmak güç ise de bir takım temel özelliklerinden bahsetmek mümkündür. Nitel araştırmalar, özellikle katılımcıların, olayların ve katılımcıların içinde yer aldığı durumların anlamını anlamayı sağlar. Nitel araştırmada, yalnızca fiziksel olaylar ve davranışlar değil, kişilerin bunları nasıl algıladıkları ve bunun anlayışlarını nasıl etkilediği ile de ilgilidir. Bu araştırma yönteminde bir hipotezi kabul etmek ya da reddetmek amacıyla veri ya da delil toplanmaz, elde edilen veriler sayılarla değil, sözlerle ve resimlerle ifade edilir (Bickman ve Rog, 1998).

Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi Görüşme Formu (DPBİGF), araştırma süresince öğretilmesi planlanan belirsizlik ilkesi ve bu ilke ile doğrudan ilişkili olan dalga paketi (dalga fonksiyonu) kavramları ile ilgili olarak öğrencilerin öğrenme güçlüklerini ve yanılgılarını belirlemek için araştırmacı tarafından uygulama öncesinde geliştirilmiştir (Ek-1'de DPBİGF yer almaktadır). Nitel veri toplama tekniklerinden birisi olan yarı yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılarak

uygulanmıştır. Bu teknik ne tam yapılandırılmış görüşmeler kadar katı ne de yapılandırılmamış görüşmeler kadar esnektir; iki uç arasında yer almaktadır. Araştırmacıya bu esnekliği sağladığı için yarı yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte görüşme soruları, görüşmeye başlamadan önce hazırlanır, fakat bireyler ve koşullara bakarak bazı esneklikler sağlanabilir. Araştırmacı önceden hazırlamış olduğu soruları yeniden düzenleyebilir veya sorular hakkında geniş tartışmalara izin verebilir (Çepni, 2007).

Araştırmacı tarafından Görüşme Formunu geliştirmek amacıyla ilk adım olarak kuantum fiziği belirsizlik ilkesi ve dalga fonksiyonu kavramına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Ardından geliştirilen görüşme formu Dokuz Eylül Üniversitesi'nde çalışmakta olan fizik alanında uzmanlaşmış bir öğretim üyesini tarafından incelenmiştir. Öğretim üyesinin görüş ve önerileri doğrultusunda sekiz sorudan oluşan görüşme formu oluşturulmuştur. Daha sonra kuantum fiziği dersini önceden almış 10 öğrenciyle bu formla görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmelerden elde edilen belirsizlik ilkesi ve dalga paketi kavramları ile ilgili yanlış ve öğrenme güçlükleri göz önünde bulundurularak araştırmanın çalışma metni, çalışma yapıları ve ev ödevi problemleri hazırlanmıştır. Daha sonra bu görüşmelerden elde edilen bulgular göz önünde bulundurularak bazı sorular değiştirilip geliştirilmiştir. Formun bu hali, fizik eğitimi anabilim dalından bir öğretim üyesinin, önerileri doğrultusunda bir kez daha düzenlenmiş son haline getirilmiştir. Bu form yardımıyla, rasgele olarak deney grubundan altı, kontrol grubundan dört öğrenci seçilerek toplam 10 öğrenciyle uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında yaklaşık 30 dakikalık görüşmeler yapılmıştır. Uygulama sırasında deney ve kontrol gruplarının her birinde toplam 18 öğrenci olduğu göz önünde bulundurulursa görüşme yapılan öğrenci sayısının grupları temsil etmede yeterli olacağı düşünülebilir. Ayrıca görüşme yapılan öğrencilerin uygulama öncesinde Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı'nda aldıkları puanlar da birbirine yakındır.

3.3.2. Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı (BİKS)

Bu araştırmada, öğrencilerin işlenen belirsizlik ilkesi ünitesi ile ilgili başarı düzeyini belirlemek için Belirsizlik İlkesi Klasik Sınavı hazırlanmıştır. BİKS deneysel çalışmanın başlangıcında ve sonunda, ön ve son sınav olarak, her iki grupta yer alan öğrencilere uygulanmıştır. Sınav, Kuantum Fiziği I dersi hedef ve davranışları doğrultusunda, araştırmacı tarafından hazırlanmış beş sorudan oluşmaktadır. Sorular, fizik eğitimi anabilim dalından iki öğretim üyesinin ve bir uzmanın görüşüne başvurulmuş, onların önerileri doğrultusunda düzenlenmiştir. Öğrencilere bu sınav için 90 dakika süre verilmiştir. (BİKS Ek-2' de sunulmuştur.) BİKS araştırmacı tarafından, ayrıntıları aşağıda açıklanan Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.3.3. Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği (KSDÖ)

Yazılı yoklamaların uzun yanıtı az sorulu ve kısa yanıtı çok sorulu olmak üzere iki türü vardır. Uzun yanıtı az sorulu yazılı yoklamalarda soruların yanıtları sınırlandırılmamıştır. Bunun, sınavda az soru sorulmasına, puanlamanın yeteri kadar objektif bir şekilde yapılamamasına ve böylece de sınavın geçerlik ve güvenilirliğinin düşmesine neden olduğu söylenebilir. Araştırmacı tarafından 5 sorudan oluşan bir klasik sınav geliştirildiğinden araştırmanın güvenilirlik ve geçerliğinin düşmesi durumuyla karşı karşıya kalınmıştır. Yazılı yoklamalarla ilgili olarak çeşitli puanlama yöntemleri vardır. Bunlar: analitik, sınıflama, sıralama ve genel izlenimle puanlama yöntemleridir. Bu yöntemlerden öğretmenlerce en fazla kullanılan yöntemlerden birisi genel izlenimle puanlama yöntemidir. Genel izlenimle puanlamada, puanlayıcı, bir cevap kağıdının tamamını okur ve onun kendisinde bıraktığı genel izlenime göre, onu en iyiden en kötüye (ya da tersi) bir kaç kategorilik puanın birine koyar. Bu puanlama şekli, öğrencinin cevabına niçin eksik puan verildiğine dair bir bilgi sağlamaz. Puanlama standartları açıkça belli değildir. Bu standartlar öğretmenden öğretmene ve hatta bir öğretmende değişik zamanlarda farklılıklar gösterir. Çok sakıncalı bir puanlama yöntemi olup, bu yöntemle elde edilen puanların güvenilirliğinin düşük olması beklenir. Bu yöntemlerden analitik

puanlama (anahtarla puanlama)'nın dışında kalanlar güvenilirliği düşük puanlama sonuçları verir. Anahtarla puanlamada, sorulara verilebilecek cevaplar önceden hazırlanır ve her cevap en ince ayrıntılarına kadar analiz edilir. Her öğenin puan limitleri belirlenir, cevaplayıcının yazdığı cevapların anahtardaki cevaplara uyma derecesine göre onlara bir puan takdir edilir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha güvenilir puanlar vermesi beklenir (Tekindal, 1997).

Klasik sınav yanıtlarını okumak için bir yanıt anahtarı oluşturulmuştur. Buna ek olarak genellikle performans ölçmek için sıkça kullanılan performans ölçeklerine benzer bir Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği (KSDÖ) geliştirilmiştir. KSDÖ analitik türde bir dereceleme ölçeğidir. Nitel sorular için ayrı, nicel sorular için ayrı olmak üzere alt becerilere puanlar verilecek şekilde hazırlanmıştır. Ölçek üç boyutlu ve her boyut kendi içerisinde alt boyutlar içerecek şekilde hazırlanmıştır. Bu boyutlardan birincisi problemi anlamadır. Bu boyutta soruda istenilenlerle yapılanların tutarlılığı değerlendirilmektedir. İkinci boyut işlemdir. Bu boyutta sorunun çözümü için gerekli bağıntı, işlem ve açıklamaların ne düzeyde gerçekleştirildiğini değerlendirmektedir. Üçüncü boyut ise sonuçtur. Bu boyutta ise sonucun doğruluğu değerlendirilmiştir. KSDÖ'nün tamamı Tablo 3.2'de yer almaktadır. KSDÖ tamamı Tablo 3.2'de yer almaktadır.

Tablo 3.2.
Klasik Sınav Dereceleme Ölçeği

DERECELEME BASAMAKLARI	SORU TÜRÜ		PUANLAMA			
	NİCEL	NİTEL	0	1	2	3
A) PROBLEMİ ANLAMA	1) İstenilenlerle yapılanlar tutarlı mı?	1) İstenilenlerle yazılanlar tutarlı mı?				
	2) Gerekli fiziksel ana ilke var mı?	2) Gerekli fiziksel ilke var mı?				
	3) Gerekli kavramlar var mı?	3) Gerekli kavramlar var mı?				
B) İŞLEM	1) Temel bağıntılar ve alt bağıntılar doğru mu?	1) Metin içi açıklamalar doğru mu?				
	2) Verilenler bağıntılarda doğru kullanılmış mı?	2) Kavramlar arası ilişkiler doğru kurulmuş mu?				
C) SONUÇ	1) Sonuç doğru mu?	1) Uygun mantıksal bir sonuca ulaşılmış mı?				

0: tamamen hatalı ya da boş

1: yarıdan az

2: yarıdan fazla

3: tamamen doğru

Bu ölçekten alınabilecek en yüksek puan 18, en düşük puan ise 0 olmaktadır. Böylece, her bir öğrencinin beş soru içeren BİKS' den alabileceği en yüksek puan 90 (5x18), en düşük puan 0 dır.

KSDÖ' nün değerlendirme güvenirlik katsayısını hesaplamak için daha önce kuantum fiziği dersini almış 26 öğrenciye ait BİKS'ye verilen yanıtlar araştırmacı tarafından bir ay ara ile iki kez okunmuştur. Elde edilen puanlar arası tutarlığı gösteren Pearson Korelasyon Katsayısı $r=0,86$ olarak bulunmuştur.

3.4 Deney Deseni

Araştırmada “eşitlenmemiş kontrol gruplu deney deseni” kullanılmıştır. Araştırma bir deney ve bir kontrol olmak üzere iki grup üzerinde yürütülmüştür. Deney grubuna hibrit yaklaşımla yapılandırılmış ders işlenirken kontrol grubuna geleneksel öğretim yöntemiyle ders işlenmiştir. Araştırmanın başlangıcında ve

sonunda her iki gruba BİKS uygulanmıştır ve Deney ve Kontrol gruplarından rasgele seçilen, deney grubundan 6 ve kontrol grubundan 4 toplan 10 öğrenciyle DPBİGF yardımıyla görüşmeler yapılmıştır. Tablo 3.3’de araştırmanın deney deseni yer almaktadır.

Tablo 3.3
Deney Deseni

Grubun Adı	Deney Öncesi	Denel İşlemler	Deney Sonrası	İki Ay Sonra
Deney Grubu	BİKS DPBİGF	Hibrit Yaklaşımla Yapılandırılmış Öğretim	BİKS DPBİGF	BİKS
Kontrol Grubu	BİKS DPBİGF	Geleneksel Sınıf Öğretimi	BİKS DPBİGF	BİKS

3.5 İşlem Yolu

Araştırma süresince aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

1) Araştırma süresince yapılan çalışmaların planlanması amacıyla işlem zaman çizelgesi yapılmıştır. (Ek-4’te işlem zaman çizelgesi yer almaktadır.)

2) Derste kazandırılacak hedef, hedef-davranışlar ve dersin içeriği belirlenmiştir.(Ek-6.’da dersin hedef ve hedef-davranışları yer almaktadır.)

3) Üniteler ve ünitelere ait alt konular belirlenmiştir.

4) Alanyazında kuantum fiziği öğretimi ve fizik öğretimi ile ilgili çalışmalarda kullanılan yöntemler, kuantum fiziğinin etkili öğretimi için yapılan çalışmaların bulguları göz önünde bulundurularak belirlenen ünitelerde kullanılabilir öğretim yöntemleri belirlenmiş ve bu yöntemlerin haftalık ders süresine göre dağılımı oluşturularak, öğretim yöntemleri açısından hibrit bir model

oluşturulmuştur. Hibrit modelin içerdiği yöntem ve teknikler ve bunların ders süresine göre dağılımı Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.4
Hibrit Yaklaşımına Göre Öğretim Yöntemlerinin Haftalık Ders
Programlarındaki Payları

Öğretim Yöntemleri	Süre (dakika)	Yüzdelerik Payı (%)
Akran Öğretimi	60	44
Tartışma	35	26
Problem Çözme	35	26
Gösteri	5	4
Düz Anlatım*	-	-

5) DPBİGF ile Kuantum fiziği dersini önceden almış 10 öğrenciyle görüşmeler yapılarak, öğrencilerin öğrenme güçlükleri ve yanlışları belirlenmiştir.

6) Öğrencilerle yapılan görüşmelerden ve alanyazında yer alan öğrenme güçlükleri ve kuantum fiziği belirsizlik ilkesi ile ilgili yanlışlar göz önünde bulundurularak hibrit yaklaşımın öğrenme malzemeleri olan çalışma metni, çalışma yapraklarının ve ev ödevi problemleri oluşturulmuştur. (Uygulama süresince deney grubunda kullanılan çalışma metni Ek-8, çalışma yaprakları Ek-9 ve ev ödevi problemleri Ek-10' da yer almaktadır).

7) Her ünite için günlük ders planları oluşturulmuştur (Ek-7'de Deney grubu günlük planları yer almaktadır).

8) Veri toplama araçları geliştirilmiştir.

* Araştırmanın uygulama aşamasında araştırmacı tarafından konunun anlaşılmayan noktalarını aydınlatmak için, konunun özetlenmesi ve güdüleme aşamasında düz anlatım yöntemine başvurulmuştur. Fakat düz anlatım yönteminin diğer yöntemler gibi uygulamadaki payı net değildir. bu yüzden süre ve yüzdelerik belirtilmemiştir.

9) Deney ve kontrol grupları rasgele belirlenmiştir.

10) Veri toplama araçları ile ön ölçümler alınmıştır.

11) Araştırma sırasında deney grubunda hibrit yaklaşımla yapılandırılmış öğretim ve kontrol grubunda geleneksel öğretim etkinlikleri araştırmacı tarafından yürütülmüştür.

12) Uygulama sonuçlarını elde etmek için BİKS ve DPBİGF son test olarak gruplara uygulanmıştır.

13) Uygulamadan iki ay sonra BİKS' deney ve kontrol grubu öğrencilerine gecikme testi olarak bir kez daha uygulanmıştır.

14) Verilerin analizi sonucu elde edilen bulgular ışığında araştırma rapor edilmiştir.

3.6. Denel İşlemler

Denel işlemler, 2007/2008 yılının güz yarıyılında Kasım ve Aralık aylarında (üç hafta / toplam 9 ders saatinde) deney ve kontrol gruplarında, kontrol grubuna dersler Kuantum Fiziği I dersi için haftalık ders programlarında ayrılan gün içinde, deney grubuna ise farklı bir günde dersler işlenmiştir. Deneysel süreçte öğretimi planlanan konuların uygulanmasına her iki grupta eş zamanlı olarak başlanılmış ve eş zamanlı olarak bitirilmiştir. Denel işlemler öncesinde araştırmanın başladığı birinci hafta ön ölçümler alınmış, geriye kalan üç hafta boyunca uygulama sürdürülmüştür. Uygulamanın bittiği haftadan sonraki haftada son ölçümler alınmıştır.

3.6.1. Deney Grubunda Gerçekleştirilen İşlemler

Uygulama sırasında seçilen öğretim yöntemleri ve bunların derste nasıl kullanıldığına ilişkin denel işlemler aşağıda verilmektedir.

1) Deney grubu öğrencilerine her derste uygulamanın başında işlenecek konu ile ilgili 5 dakikalık kısa bir film izletilmiştir.

2) Öğrencilerin dört kişilik heterojen gruplar oluşturmaları sağlanmıştır. Bu gruplar her hafta değiştirilerek uygulama sürdürülmüştür. Gruplara “Ders İçeriği Çalışma Metni”ninden her grupta ikişer tane olacak şekilde dağıtılmış ve grupların birlikte Çalışma Metnindeki içeriğe çalışmaları sağlanmıştır. Öğrenciler 60 dakikalık süre boyunca grup çalışmasıyla konuya çalışırken araştırmacı gruplar arasında dolaşarak önemli noktaları vurgulamış anlaşılmayan noktalarda, gruplara yardımcı olmuştur.

3) Gruplar “Ders İçeriği Metni”ni çalıştıktan sonra, her bir gruba Çalışma Yaprakları dağıtılmıştır. Çalışma yapraklarında üç tartışma sorusu, üçte problem yer almaktadır. Çalışma yaprağındaki tartışma soruları öncelikle grup içinde 20 dakika boyunca tartışılmıştır. Daha sonra araştırmacı önderliğinde 15 dakikalık süre boyunca sınıfça tartışılmıştır.

4) Çalışma yaprağının problem çözümü kısmında yer alan problemler gruplar tarafından çözülmüştür. 20 dakikalık süre boyunca araştırmacı yardım isteyen guruplara yardımcı olmuştur. Daha sonra rasgele gruplardan seçilen öğrencilerle problemlerin tahtada çözülmesi sağlanmıştır.

5) Dersin sonunda öğrencilerin bireysel çalışmasını sağlamak için hazırlanmış konunun tamamına ait 5 problem ve 1’de problem oluşturma etkinliğinin yer aldığı Ev ödevi problem yaprağı her öğrenciye bir tane olacak şekilde dağıtılmıştır.. Ev ödevi problem yaprakları bir sonraki dersin başında toplanarak değerlendirilmiştir.

Denel işlemler boyunca deney grubuna işlenen konular, yapılan etkinlikler, uygulanan yöntemler ve ders sürelerine göre dağılımları gerçekleştirilen etkinlikler Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.5.
Uygulama Süresince Deney Grubunda İşlenen Üniteler, Yapılan Etkinlikler ve Ders Sürelerine Göre Dağılımı

ÜNİTE 1	DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI
UYGULAMALAR	<ol style="list-style-type: none"> 1) Çift Yarıktaki Girişim Deneyi ile ilgili bir Kısa Film Gösterisinin izletilmesi (5 dk). 2) Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Kavramı Çalışma Metni'nin dağıtılması ve öğrenci grupları tarafından, Çalışma Metninde yer alan konuların grup çalışmasıyla öğrenilmesi (60 dk). 3) Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Kavramı Çalışma Yaprağı'nın dağıtılması ve çalışma yaprağındaki tartışma sorularının grupça tartışılması (20 dk). 4) Çalışma yapraklarında yer alan tartışma sorularının sınıfça tartışılması ve ortak sonuca varılması (15 dk). 5) Çalışma yaprağında yer alan problemlerin grupça çözümü (20 dk). 6) Çalışma yaprağındaki problemlerin gruptan seçilen öğrenciler tarafından tahtada çözülmesi ve Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Kavramı Ev Ödevi Çalışma Yapraklarının dağıtılması (15 dk).
ÜNİTE 2	BELİRSİZLİK İLKESİ
UYGULAMALAR	<ol style="list-style-type: none"> 1) Belirsizlik İlkesiyle ilgili Kısa Film gösterisinin izletilmesi (5 dk). 2) Momentum Kavramı ve Belirsizlik İlkesi Çalışma Metni'nin dağıtılması ve öğrenci grupları tarafından, çalışma metninde yer alan konuların grup çalışmasıyla öğrenilmesi (60 dk). 3) Belirsizlik İlkesi Çalışma Yaprağı'nın dağıtılması ve çalışma yaprağındaki tartışma sorularının grupça tartışılması (20 dk). 4) Çalışma yapraklarında yer alan tartışma sorularının sınıfça tartışılması ve ortak sonuca varılması (15 dk). 5) Çalışma yaprağında yer alan problemlerin grupça çözümü (20 dk). 6) Çalışma yaprağındaki problemlerin gruptan seçilen öğrenciler tarafından tahtada çözülmesi ve Belirsizlik İlkesi Ev Ödevi Çalışma Yapraklarının dağıtılması (15 dk).

UYGULAMALAR

- 1) Belirsizlik İlkesi Tek Yarıktaki Kırınım Deneyi ile ilgili Kısa Film gösterisinin izletilmesi (5 dk).
- 2) Belirsizlik İlkesi Uygulamaları Çalışma Metni'nin dağıtılması ve öğrenci grupları tarafından, Çalışma Metninde yer alan konuların grup çalışmasıyla öğrenilmesi (60 dk).
- 3) Belirsizlik İlkesi Uygulamaları Çalışma Yaprığı'nın Dağıtılması ve çalışma yaprağındaki tartışma sorularının grupça tartışılması (20 dk).
- 4) Çalışma yapraklarında yer alan tartışma sorularının sınıfta tartışılması ve ortak sonuca varılması (15 dk)
- 5) Çalışma yaprağında yer alan problemlerin grupça çözümünün yapılması (20 dk)
- 6) Çalışma yaprağındaki problemlerin gruptan seçilen öğrenciler tarafından tahtada çözülmesi ve Belirsizlik İlkesi Uygulamaları Ev Ödevi Çalışma Yaprakları'nın dağıtılması (15 dk).

3.6.2. Kontrol Grubunda Gerçekleştirilen İşlemler

Araştırma sürecinde kontrol grubunda gerçekleştirilen işlemler sırasıyla şöyledir:

1) Deney grubu için hazırlanmış olan Çalışma Metni'nde yer alan içerik araştırmacı tarafından Sunuş Yoluyla Öğrenme, Düz Anlatım Yöntemi, Anlatma ve Soru yanıt teknikleri kullanılarak hazırlanan günlük planlara uygun bir şekilde anlatılmıştır.

2) Ders anlatımının sonunda Deney Grubu öğrencilerinin Çalışma Yapraklarında yer alan problemler araştırmacı tarafından kontrol grubu öğrencilerine derste çözülmüştür.

3) Deney Grubu öğrencilerine ev ödevi olarak verilen problemlerin hepsi kontrol grubu öğrencilere de aynen dağıtılmıştır. Fakat kontrol grubu öğrencileri bu soruların çözümlerini getirmek zorunda tutulmamıştır.

Denel işlemler boyunca kontrol grubuna işlenen konular, yapılan etkinlikler, uygulanan yöntemler ve ders sürelerine göre dağılımları gerçekleştirilen etkinlikler Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.6.

Uygulama Süresince Kontrol Grubunda İşlenen Üniteler, Yapılan Etkinlikler ve Ders Sürelerine Göre Dağılımı

ÜNİTE 1	DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI
<p>UYGULAMALAR</p>	<p>1) Sunuş Yoluyla Öğrenme, Düz Anlatım Yöntemi, Anlatma ve Soru-Yanıt teknikleri kullanılarak hazırlanan günlük planlara uygun bir şekilde Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Kavramı ders içeriği araştırmacı tarafından anlatılmıştır.</p> <p>2) Deney Grubu öğrencilerinin Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Fonksiyonu Çalışma Yapraklarında yer alan problemler araştırmacı tarafından derste çözülmüştür.</p> <p>3) Deney Grubun Dalga Fonksiyonu ve Olasılık Kavramı Ev Ödevi Çalışma Yapraklarının verilen problemlerin hepsi kontrol grubu öğrencilere de aynen dağıtılmıştır</p>
ÜNİTE 2	BELİRSİZLİK İLKESİ
<p>UYGULAMALAR</p>	<p>1) Sunuş Yoluyla Öğrenme, Düz Anlatım Yöntemi, Anlatma ve Soru yanıt teknikleri kullanılarak hazırlanan günlük planlara uygun bir şekilde Momentum Kavramı ve Belirsizlik İlkesi Çalışma Metni ders içeriği araştırmacı tarafından anlatılmıştır.</p> <p>2) Deney Grubu öğrencilerinin Belirsizlik İlkesi Çalışma Yapraklarında yer alan problemler araştırmacı tarafından derste çözülmüştür.</p> <p>3) Deney Grubu Belirsizlik İlkesi Ev Ödevi Problem Yapraklarında verilen problemlerin hepsi kontrol grubu öğrencilerinede aynen dağıtılmıştır.</p>
ÜNİTE 3	BELİRSİZLİK İLKESİ UYGULAMALARI
	<p>1) Sunuş Yoluyla Öğrenme, Düz Anlatım Yöntemi, Anlatma ve Soru yanıt teknikleri kullanılarak hazırlanan günlük planlara uygun bir şekilde Belirsizlik İlkesi Uygulamaları Ders İçeriği araştırmacı tarafından anlatılmıştır.</p>

UYGULAMALAR

- 2) Deneý Grubu öğrencilerinin Belirsizlik İlkesi Uygulamaları Çalışma Yapraklarında yer alan problemler araştırmacı tarafından derste çözülmüştür.
 - 3) Deneý Grubu Belirsizlik İlkesi Uygulamaları Problem Yapraklarında verilen problemlerin hepsi kontrol grubu öğrencilere de aynen dağıtılmıştır.
-

3.7. Öğrenme Malzemeleri

Araştırma sırasında Griffiths (1995) Introduction to Quantum Mechanics; Karaoğlu (2003) Kuantum Mekaniğine Giriş; Morrison (1996) Understanding Quantum Physics; Liboff (1980) Introductory Quantum Mechanics; Gasirowicz (1974) Quantum Physics; Rızaoğlu (1982) Kuantum Mekaniği Çözümlü Problem Kitabı; Serway (2002) Fen ve Mühendislik İçin Fizik III ve Sönmez (2004) Öğretmen El Kitabı kitapları kullanılmıştır. Denel işlemler süresince araştırmacı tarafından düzenlenmiş Çalışma Metni, Problem Yaprakları ve Ev Ödevi Problem Yaprakları kullanılmıştır.

3.8. Veri Çözümleme Teknikleri

Araştırma süresince elde edilen veriler SPSS 11.0 for WINDOWS istatistik programı kullanılmıştır.

Verilerin çözümlenmesi amacıyla aşağıdaki istatistiksel teknikler kullanılmış, her birinin kullanıldığı yerler ilgili bulgular elde edilirken açıklanmıştır.

- 1) Aritmetik Ortalama
- 2) Standart Sapma
- 3) t- testi
- 4) Varyans Analizi
- 5) Nitel Analiz

BÖLÜM 4

BULGULAR VE YORUMLAR

Bu bölümde, önceki bölümde sunulan araştırma yöntemi ile toplanan verilerin, araştırmanın her bir alt problemi ile ilgili olarak istatistiksel tekniklerle yapılan çözümlenmeleri sonucu elde edilen bulgulara ve bu bulgulara ilişkin yorumlara yer verilmiştir.

Bu bölümde uygulama öncesinde öğrencilerin dalga paketi ve belirsizlik ilkesi ile ilgili öğrenme güçlükleri ve yanılgılarını belirlemek için Kuantum Fiziği dersini önceden almış toplam 10 öğrenciyle yapılan görüşmeler sonucu ortaya çıkan bulgulara yer verilmiştir. Ayrıca öğretim yöntemlerinin hibrit yaklaşımla yapılandırılması sonucu oluşan fizik öğretiminin öğrenci başarısına etkilerini belirlemek amacıyla gruplar istatistiksel olarak normal dağılım gösterdikleri için deney ve kontrol gruplarının başarı testi puanları parametrik testlerden olan aritmetik ortalaması ve standart sapmaları, t testi ve varyans analizi SPSS 11.0 for WINDOWS istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiş sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca denek sayısının sınırlılığı göz önünde bulundurularak, başarı puanları Wilcoxon işaretli sıralar testi ve Mann-Whitney U kullanılarak da analiz edilmiştir aritmetik ortalaması ve standart sapmaları, t testi ve varyans analizinden elde edilen sonuçlarla aynı sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak deney ve kontrol grubunda yer alan ve rasgele seçilen toplam 10 öğrenciyle uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında yarı yapılandırılmış görüşme formları ile toplanan bulgulara yer verilmiştir.

4.1. Kuantum Fiziği Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları

Araştırmanın kapsamında, öğrenciler ile yapılan görüşmelerde sekiz temel soru yöneltilmiştir. Bu sorular ile öğrencilerin “Dalga Paketi” ve “Belirsizlik İlkesi’ne

yönelik yanılgılarını ve öğrenme güçlüklerini belirlemek amaçlanmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik Öğretmenliği Bölümünde öğrenim gören ve Kuantum Fiziği dersini alan öğrencilerin sorulara ilişkin görüşleri kaydedilmiştir. DPBİGF ile bilgi toplanmıştır. Öğrencilerle sessiz bir ortamda tek tek yaklaşık 30 dakikalık görüşmeler yapılmıştır. Görüşmeler sırasında ses kayıt cihazı kullanılarak öğrenci görüşleri kaydedilmiştir. Ardından bu ses kayıtları araştırmacı tarafından bilgisayara aktararak dinlenilmiş, her bir öğrencinin ses kayıtları yazılı hale getirilmiştir. Daha sonra bu ses kayıtlarındaki ortak yanılgılar belirlenmiştir. Tablo 4.1’de öğrencilerin yanıt tipleri, öğrenci görüşleri ve frekansları yer almaktadır. Öğrenci görüşleri yalnızca dilbilgisinde düzeltmeler yapılarak aynen aktarılmıştır. Öğrenciler görüşme sırasına göre; Ö1, Ö2, Ö3, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö8, Ö9 ve Ö10 olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 4.1.

Dalga Paketi ve Belirsizlik İlkesi İle İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları

Soru No	Yanıt Tipleri	Örnek Öğrenci Görüşü	Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
			Frekans	%
1	1) Mikroskobik parçacıklara eşlik eden dalgalar sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik dalgalardır.	Ö6: “Mikroskobik parçacığa eşlik eden dalğanın denklemi $y=Asin(\omega t)$ dir. Frekansı ve genliği her yerde olan sinüzoidal bir dalgadır. Bu dalga tüm uzaya yayılmıştır.”	6	60
2	2) Dalga paketi elektromanyetik dalgalardan oluşmuştur.	Ö4: “ Eğer mikroskobik parçacık yüklü bir parçacığa eşlik eden dalgalar elektromanyetik dalgadır; yüksüzse değildir.”	2	20
	3) Dalga Paketi parçacıkların tepe ve çukur noktaları üzerinde ilerlediği harmonik bir dalgadır.	Ö2: “Dalga paketi birçok parçacığa eşlik eden dalgaların oluşturduğu bir yapıdır. Dalga paketinin eşlik ettiği parçacık, dalga paketinin tepe ve çukur noktaları üzerinde dalga paketi ile birlikte ilerler.”	1	10
	4) Dalga Paketi mikroskobik parçacık üzerinde etkili bir kuvvettir.	Ö5: “Mikroskobik parçacıklara eşlik eden dalgalar parçacığın hareketini etkilerler. Parçacığa yörüngesel hareket yaptıran bu dalgalardır.”	1	10
	5) Dalga Paketi mikroskobik parçacıkları takip eden bir dalgadır.	Ö6: “Elektron önden gider. Dalgada sinüzoidal bir şekilde onu takip eder. Belirli bir uzunluğu vardır. Tek bir elektrona bu dalgalardan bir tane eşlik eder.”	2	20
3	6) Elektron kesin olarak belirlenebilen bir konuma sahiptir.	Ö1: “Elektronun nerede olduğu Schrödinger Dalga Denkleminden yararlanılarak tam olarak bulunabilir.”	2	20

4	7) "Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi" teknolojik yetersizlikten kaynaklanır.	Ö1: "Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi" teknolojik sınırlamalardan dolayı momentumun x bileşeni ile x konumunun aynı anda ölçülemeyeceği anlamına gelir."	3	30
	8) "Belirsizlik İlkesi" mikroskobik parçacıkların çok hızlı hareket etmesiyle ilgilidir.	Ö3: "...Belirsizliğin sebebi mikroskobik parçacıkların çok hızlı hareket ediyor olması olabilir.	2	20
	9) Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi" ölçmedeki hatadan kaynaklanır.	Ö1: "... örneğin; Bir suyun sıcaklığını ölçmek için derece soktuğumuzda, suyun sıcaklığını değiştirmiş oluyoruz. Ölçmek istediğimiz şeyi ölçemiyoruz. Belirsizlik ilkesi buna benziyor."	2	20
5	10) Δx mikroskobik parçacığın x yönünde aldığı yolu ifade eder. Δp_x ise momentum değişimini ifade eder.	Ö1: " Δx Parçacığın x yönünde aldığı yoldur..."	5	50
	11) Δx ve Δp_x mikroskobik parçacığın konumu ile momentumunun ölçümünde yapılan hatadır.	Ö5: " Δx ve Δp_x bir ölçümün standart sapma değerleridir. Bir ölçümde yapılabilecek hataları ifade ederler."	1	10
6	12) de Broglie dalga boyu, dalga paketinin dalga boyudur.	Ö9: "de Broglie dalga boyundan yararlanarak parçacığın Δx , Δp_x belirsizlikleri belirlenebilir. de broglie dalga boyu dalga paketinin dalga boyudur."	1	10
7	13) Belirsizlik İlkesi komütasyon bağıntısıyla ilişkisi açıklanamamıştır.		4	40
8	14) Belirsizliğin sebebi mikroskobik parçacıkların çok küçük olmasından kaynaklanır.	Ö9: "Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi makroskobik evrende uygulanamaz. Mikroskobik evrende parçacıklar çok hızlı hareket ettiğinden mikroskobik parçacıklar ölçülemiyor. Fakat makroskobik evrende böyle hızlı hareket eden bir şey yok..."	2	20

Görüşme yapılan 10 öğrencinin kuantum fiziği Belirsizlik İlkesi ve ilgili kavramlara yönelik çeşitli yanıtlara sahip olduğunu görmekteyiz.

4.2. Hibrit Yaklaşımın Öğrencilerin Akademik Başarısı Üzerindeki Etkileri

Uygulanan Hibrit yaklaşımın, öğrencilerin fizik başarısı üzerindeki etkilerini incelemek için deney grubunda ve kontrol grubunda yer alan öğrencilerin denel işlemler öncesinde ve sonrasında fizik dersindeki başarılarına bakılmıştır. Bu amaçla deney ve kontrol gruplarının BİKS'ye ilişkin ön ölçüm ve son ölçüm puanlarının aritmetik ortalama ve standart sapmaları hesaplanmış, grupların ortalamaları arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek için t testi yapılmış ve analiz sonuçları Tablo 4.2.' de sunulmuştur.

Tablo 4.2.

Deney ve Kontrol Gruplarının BİKS Ön ve Son Ölçümlerine Göre Aritmetik Ortalama, Standart Sapma ve t testi Sonuçları

Ölçümler	Gruplar	n	O	SS	SD	t-Değeri	p-Değeri
Ön Ölçümler	DG	18	8,44	5,38	34	0,097	0,924
	KG	18	8,28	4,96			
Son Ölçümler	DG	18	51,33	15,52	34	6,96	0,00*
	KG	18	21,17	7,32			

Not: DG: Deney Grubu; KG: Kontrol Grubu
*Fark Önemli (Önem denetimi $p < 0,05$)

Max Puan:90

Tablo 4.2. incelendiğinde BİKS ön ölçümlerinde, deney grubu ortalamasının (O=8,44) ve kontrol grubunun ortalamalarının (O=8,28) birbirine yakın olduğu ve grupların ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmektedir [SD=34, $t_{34}=0,097$: $p>0,05$].

Tablo 4.2. incelendiğinde BİKS son ölçümlerinde, deney grubunun ortalamasının (O=51,33), kontrol grubunun ortalamasından (O=21,17) yüksek olduğu görülmektedir. [SD=34, $t_{34}=6,96$: $p<0,05$].

Tablo 4.3.

**Deney ve Kontrol Gruplarının BİKS
Ön- Son Ölçümlerinin Karşılaştırmaları**

Gruplar	Ö.Ö.		S. Ö.		SD	t-Değeri	p-Değeri
	O	SS	O	SS			
DG (n=18)	8,44	5,38	51,33	15,52	34	-10,541	0,00*
KG (n=37)	8,28	4,97	23,16	7,32	34	-7,86	0,00*

Not: SG: Deney Grubu; KG: Kontrol Grubu; ÖÖ: Ön Ölçüm; SÖ: Son Ölçüm
*Fark Önemli (Önem Denetimi $p < 0,05$)

Max Puan:90

Tablo 4.3.'e göre, deney grubunun son ölçüm ortalaması (O=51,33), ön ölçüm ortalamasından (O=8,44) yüksektir. Ortalamalar arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan t testi sonucunda, ön ölçüm ve son ölçüm

ortalamları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır [SD=34, $t_{34} = -10,541$, $p=0,00$, $p<0,05$]. Yine Tablo 4.3. incelendiğinde, kontrol grubunun son ölçüm ortalamasının (O=23,16) ön ölçüm ortalamasından (O=8,28) yüksek olduğu görülmektedir. Ortalamalar arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan t testi sonucunda, ön ölçüm ve son ölçüm ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır [$t_{34} = -7,86$ $p=0,00$, $p<0,05$].

4.3. Hibrit Yaklaşımın Öğrencilerin Hatırda Tutmalarına Etkileri

Uygulanan hibrit yaklaşımın, öğrencilerin hatırd tutma düzeyi üzerindeki etkilerini incelemek için deney grubu ve kontrol grubunda yer alan öğrencilere denel işlemlerden hemen sonra ve denel işlemlerden iki ay sonra BİKS uygulanmıştır. Deney ve kontrol gruplarının BİKS'ye ilişkin son ölçüm ve geciktirilmiş ölçüm puanlarının aritmetik ortalama ve standart sapmaları hesaplanmış, grupların ortalamaları arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek için ilişkisiz t testi yapılmış ve analiz sonuçları Tablo 4.4.' de sunulmuştur

Tablo 4.4.

Deney ve Kontrol Gruplarının BİKS Son ve Geciktirilmiş Ölçümlerine Göre Aritmetik Ortalama, Standart Sapma ve t testi Sonuçları

Ölçümler	Gruplar	n	O	SS	SD	t-Değeri	p-Değeri
Geciktirilmiş Ölçüm	DG	18	40,72	15,52	34	4,643	0,00*
	KG	18	22,06	7,32			

Not :SG:DeneyGrubu; KG: Kontrol Grubu;
*Fark Önemli (Önem Denetimi $p < 0,05$)

Max Puan:90

Tablo 4.4.'e göre, deney grubunun geciktirilmiş ölçüm ortalaması (O=40,72) kontrol grubunun ortalamasından (O=22,06) yüksektir. Ortalamalar arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan t testi

sonucunda, deney ve kontrol grubu geciktirilmiş ölçüm ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır [SD=34, $t_{34} = 4,643$, $p=0,00$, $p<0,05$].

Tablo 4.5.
Deney Grubu Son ve Geciktirilmiş Ölçümleri ile Kontrol Grubu Son ve Geciktirilmiş Ölçümleri t-Testi Sonuçları

Gruplar	S.Ö.		G. Ö.		SD	t-Değeri	p-Değeri
	O	SS	O	SS			
DG (n=18)	51,33	15,52	40,72	12,99	17	3,789	0,00*
KG (n=37)	23,16	7,32	22,11	11,19	17	0,383	0,707

Not: SG: Deney Grubu; KG: Kontrol Grubu; S.Ö: Son Ölçüm; G.Ö: Geciktirilmiş Ölçüm Max Puan:90
*Fark Önemli (Önem Denetimi $p < 0,05$)

Tablo 4.5.'e göre, deney grubunun son ölçüm ortalaması (O=51,33) geciktirilmiş ölçüm ortalamasından (O=40,72) yüksektir. Ortalamalar arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan t testi sonucunda, son ölçüm ve gecikmiş ölçüm ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır [SD=17, $t_{17} = 3,789$, $p=0,00$, $p<0,05$]. Yine Tablo 4.5. incelendiğinde, kontrol grubunun son ölçüm ortalamasının (O=23,16) geciktirilmiş ölçüm ortalamasından (O=22,11) yüksek olduğu görülmektedir. Ortalamalar arasındaki farkın önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan t testi sonucunda, son ölçüm ve geciktirilmiş ölçüm ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmıştır [$t_{17} = 0,383$, $p=0,707$, $p>0,05$].

4.4. Deney ve Kontrol Gruplarının Açık Uçlu Sorulara Verdikleri Yanıtların Değerlendirilmesi

Bu bölümde uygulama öncesi ve uygulama sonrası deney ve kontrol grubundan seçilen öğrencilerle yarı yapılandırılmış görüşme tekniği uygulanarak toplanan veriler değerlendirilmiştir. Görüşmelerden elde edilen verilerin analizinin nasıl yapılacağı süregelen bir tartışma konusudur. Bu tartışmaya kesin bir çözüm bulunamamasına rağmen bu alanda söz sahibi olan Yin (1989) ve Marriam (1988)

görüşlerini şöyle ifade etmektedir: Görüşmelerden elde edilen verileri analiz etmek için öncelikle bireylerin fikir birliğine vardığı veya varmadığı noktaları tespit etmek gerekir. Bu ortak veya farklı noktalar gruplar haline dönüştürülmeli ve bu grupların tekrarlanma sıklıklarının belirtilmesi gerekir. Ayrıca, görüşmeden doğrudan cümleler alınarak bireyin ifadelerini olduğu gibi yansıtmanın da çok yararlı olacağına inanılır. Bu yolla, okuyucu doğrudan verilerle karşı karşıya gelir ve verilerin ne anlama geldiğini kendi yorumları ile ortaya koyabilmesine olanak sağlanmış olur (Çepni, 2007: s.110-111'deki alıntı.). Bu araştırmada verilerin analizini bu yaklaşıma uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Aşağıda öğrencilerin DPBİGF'de yer alan her bir soruya uygulama öncesi ve uygulama sonrası verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların dağılımları kategoriler halinde verilmiştir.

4.4.1. DPBİGF'nin Birinci Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney grubu öğrencileriyle uygulama öncesinde yapılan görüşme sonucunda görüşme yapılan öğrencilerin %50' si $y(x,t)$ dalga fonksiyonu olarak sabit genlikli harmonik bir dalga şekli veya $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun karesini şeklini çizmişlerdir. Çizdikleri $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun fiziksel özelliklerine yönelik sorulara verdikleri yanıtlar ve yanıtların dağılım yüzdeleri Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6.
Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Birinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Deney Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı		
	Yanıt Tipi	Örnek Öğrenci Görüşü	Frekans	%	
1	1) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade eder.	Ö5: $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kendisi parçacığın bulunma olasılığını ifade eder. Dalganın maksimum uzanımının tepe noktasında elektronun bulunma olasılığı diğer bölgelere göre daha yüksektir.”	2	33	
	2) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır.	Ö4: “ $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli sinüzoidal bir dalgadır ve tüm uzaya yayılmıştır”	2	33	
	3) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliği, enerji ile ilişkilidir.	Ö6: “ $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu x çevresinde harmonik hareket yapar... Bu dalganın uzanımı ne kadar büyükse şiddeti ve enerjisi de o kadar büyüktür...elektromanyetik dalgalar elektronların hareketinden kaynaklanıyor. Buradaki dalgada elektronun hareketinden oluşuyor. Bu yüzden elektromanyetik bir dalgadır...”	2	33	
	4) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.				
	Deney Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri				
	1) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun tek başına fiziksel bir anlamı yoktur. Özdeş birçok parçacığın istatistiksel bilgisini taşır.	Ö2: $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun fiziksel anlamı yoktur. $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun karesinin fiziksel anlamı vardır. Parçacığın bulunma olasılığını ifade eder.	5	83	
	2) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.	Ö3: “Elektronlar çevrelerine elektromanyetik dalga yayınlıyor bu yüzden $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.”	1	17	

Uygulama öncesinde görüşme yapılan deney grubu öğrencileri $y(x,t)$ dalga fonksiyonunu klasik dalgalarla ilişkilendirerek açıklarken uygulama sonrasında ise bir öğrenci dışındaki diğer öğrenciler $y(x,t)$ dalga fonksiyonu için daha doğru açıklamalar ifade etmişlerdir.

Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde birinci soruya verdikleri yanıtlar ve yanıtların dağılım yüzdeleri ise tablo 4.7.’de verilmiştir.

Tablo 4.7.
Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Birinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Kontrol Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Örnek Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
1	1) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliği, enerji ile ilişkilidir.	Ö7: " $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektronun yörüngesini gösterir... tüm uzaya yayılmış bir dalgadır ve dalganın uzanımının büyük olduğu yerde enerjisi ve şiddetinde daha büyüktür."	1	75
	2) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu parçacığın yörüngesini ifade eder.	Ö8: " $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektronun yörüngesini gösterir. Elektron bu yörüngede ilerler... elektron hızlandıkça $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun dalga boyuda büyür..."	2	50
	3) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.	Ö10: " $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik dalgadır çünkü ışık fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgadır. Bu yüzden mikroskobik parçacıklara eşlik eden dalgalarda elektromanyetik dalgadır."	1	25
	4) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade eder.	Ö9: "Dalga fonksiyonunun genliğinin büyük olduğu yerde parçacığın bulunma olasılığı yüksek, düşük olduğu yerde parçacığın bulunma olasılığı düşüktür..."	1	25
	5) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır.	Ö7: "Dalga fonksiyonunun genliğinin büyük olduğu yerde enerjisi de, şiddeti de büyüktür..."	1	25
	Kontrol Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	1) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu, kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade eder.	Ö9: " $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliğinin büyük olduğu yerde parçacığın bulunma olasılığı yüksek, küçük olduğu yerde ise düşüktür."	3	75
	2) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliği, enerji ile ilişkilidir.	Ö10: " $Y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliğinin büyük olduğu yerde dalganın enerjisi de büyüktür."	2	50
	3) $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır	Ö10: " $Y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır."	1	25

Uygulama öncesinde kontrol grubu öğrencilerinin sahip olduğu yanılgıların bir kısmının uygulama sonrasında da devam ettiği görülmektedir. Uygulama öncesinde $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade ettiği yönündeki görüşte artış olurken, $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun

sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalga olduğu görüşünde bir değişme olmamıştır.

4.4.2. DPBİGF'nin İkinci Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney grubu öğrencileri ile uygulama öncesi yapılan görüşmelerde öğrencilerin dördü (%66), $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun matematiksel ifadesi olarak sabit genlikli sinüzoidal harmonik bir dalgaya uygun matematiksel ifade tanımlamışlardır. Uygulama sonrasında ise bir öğrenci soruyu yanıtlamazken diğer tüm öğrenciler $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun matematiksel ifadesini doğru tanımlamışlardır.

Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesi ve uygulama sonrasında yanıtları ve yanıtların dağılımında bir değişiklik olmamıştır. Kontrol grubu öğrencilerinden dördü (%75) ikinci soruyu yanıtlamamış biri (%25) ise sabit genlikli sinüzoidal harmonik bir dalgaya uygun matematiksel ifade yazmıştır.

4.4.3. DPBİGF'nin Üçüncü Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney Grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde üçüncü soruya verdikleri yanıtlar ve yanıtların dağılım yüzdeleri tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.8.
Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Üçüncü Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Deney Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşü	Frekans	%
3	1) Ölçme işlemi sırasında elektron üzerine gönderilen foton elektronun konumunu değiştirir bu yüzden kuantum fiziksel bir parçacığın konumu kesin olarak belirlenemez.	Ö5: "Kuantum fiziksel bir parçacığın bir özelliğini ölçmek istediğimizde o parçacığa müdahale ettiğimizden elde ettiğimiz değer gerçekten parçacığın ölçmek istediğimiz değeri olduğunu iddia edemeyiz."	2	33
	2) Elektronlar çok küçük olduğundan ölçü aletleri tarafından net bir şekilde ölçülemezler.	Ö6: "...kuantum fiziksel parçacıklar çok küçük olmasından dolayı ölçü aletleri bu kadar küçük parçacıkları ölçemezler..."	1	17
	3) Elektron tüm uzaya dağılmıştır.	Ö4: "Elektronun kesin bir konumu yok bence her tarafta olduğundan konumunu belirlemede zorluk çekiyoruz."	1	17
	Deney Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri			
	1) Elektron kesin belirli bir konumu yoktur.	Ö6: "Kuantum fiziksel parçacıklar dinamik parçacıklardır. Bu parçacıklara konumları olasılıklarla ifade edilebilir."	2	33
	2) Ölme işlemi ölçüm sonucunu etkiler bu yüzden kuantum fiziksel bir parçacığın konumunu kesin olarak belirlenemez.	Ö3: "ölçme işlemi ölçüm sonucunu etkiler bu yüzden ölçüm alınmaz".	2	33

Deney grubu öğrencileri ile uygulamadan sonra yapılan görüşme sonucunda öğrenciler uygulama öncesindeki görüşlerinde ölçme işleminin ölçüm sonucunu değiştirdiği yönündeki görüşünde bir değişim olmazken, elektronların kesin bir konumu olmadığını, birçok olası konum değerine sahip olduğu yöndeki görüş ağırlık kazanmıştır.

Kontrol Grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde üçüncü soruya verdikleri yanıtlar ve yanıtların dağılım yüzdeleri tablo 4.9.'da verilmiştir.

Tablo 4.9.
Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Sonrası
Üçüncü Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Kontrol Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
3	1) Kuantum fiziksel parçacıklar hızlı ve küçük parçacıklardır. Bu yüzden kuantum fiziksel parçacıkları ölçmek güçtür.	Ö10: “Kuantum fiziksel parçacıklar çok küçük olduğundan ölçmede zorlukla karşılarız... O kadar küçük parçacıkları ölçebilecek cihazlar yok. Ayrıca bu parçacıklar çok hızlıdır. Bu kadar hızlı hareket eden bir parçacığı yakalayabilecek ölçü aletleri olmamasından dolayı kuantum fiziksel parçacıkları ölçmek zordur.”	2	50
	Kontrol Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	1) Kuantum fiziksel parçacıklar hızlı ve küçük parçacıklardır. Bu yüzden fiziksel parçacıkları ölçmek güçtür.	Ö8: “...elektron küçük ve hızlı olduğundan dolayı, parçacığın konumu ve hızını belirlemek zordur. Elektron için çeşitli ölçüm sonuçları alabiliriz. Fakat bu ölçüm sonuçları birbirinden farklı çıkacaktır. Elektron sürekli yer değiştireceğinden dolayı...”	2	50
2) Ölme işlemi ölçüm sonucunu etkiler bu yüzden kuantum fiziksel bir parçacığın konumunu kesin olarak belirlenemez.	Ö9: “Ölme işlemi ölçüm sonucunu değiştirir bu yüzden kuantum fiziksel bir parçacığın konumunu kesin belirleyemeyiz.”	1	25	

Tablo 4.9. incelendiğinde kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesindeki yanıtlarından, öğrencilerin kuantum fiziksel parçacıkları klasik parçacıkların küçültülmüşleri olarak düşündüklerini savını ileri sürebiliriz. Kontrol grubunun uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında üçüncü soruya verdikleri yanıtlarda belirli bir farklılık görülmemektedir. Uygulama öncesinde sahip oldukları görüşleri uygulama sonrasında da sürdürmüşlerdir.

4.4.4. DPBİGF'nin Dördüncü Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney Grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında dördüncü soruya verdikleri yanıtlar Tablo 4.10.' da verilmiştir.

Tablo 4.10.
Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Dördüncü Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdelik Dağılımı

Soru No	Deney Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşü	Frekans	%
4	1) Bir hidrojen atomunun elektronunun konum ve momentumunu defalarca ölçülerek elde edilen değerlerin ortalaması alınır.	Ö5: "Birden çok hatta ne kadar çok ölçüm alırsam o kadar asıl değere yaklaşıyorum. Ölçü aletlerinden dolayı tam ölçüm alamıyoruz. Ancak ölçü aletinin bize sağladığı kadarıyla yaklaşıyoruz. Bu yüzden ne kadar çok ölçüm alırsam gerçek değere o kadar çok yaklaşıyorum."	3	50
	Deney Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	2) Birçok hidrojen atomunun yarısının momentumunu ve yarısının konumu ölçülür. Elde edilen değerlerin standart sapmaları ve ortalamaları alınır.	Ö2: "Birbirinin tamamen aynı özelliklere sahip elektronları birer kez ölçerim aynı elektron üzerine ikinci ölçüm alamayız çünkü dalga fonksiyonu çöküyor. Örneğin; 2000 tane hidrojen atomunun 1000 tanesinin konumunu, 1000 tanesinin momentumunu ölçeriz. Elde edilen değerlerin standart sapması ve ortalaması alınır."	6	100

Uygulama öncesinde deney grubunu öğrencileri bir hidrojen atomunun tek elektronunun konum ve momentum değerlerinin ölçüleceği yönünde görüş bildirirken uygulama sonrasında ise dalga fonksiyonunun çökmesi nedeniyle birçok hidrojen atomunun elektronunun konum ve momentum ölçümleri sonucu elde edilen değerlerin standart sapma ve ortalamalarının kullanılması gerektiği yönünde görüş bildirmişlerdir.

Kontrol grubu öğrencilerinin dördüncü soruya verdikleri yanıtlar analiz edilip, değerlendirildiğinde öğrencilerin birisi bu soruyu yanıtlamazken diğer öğrenciler bu soruya benzer yanıtlar vermiştir. Deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında dördüncü soruya verdikleri yanıtlar Tablo 4.11' de verilmiştir.

Tablo 4.11.
Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesinde Dördüncü Soruya
Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdelik Dağılımı

Soru No	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
4	1) Bir hidrojen atomunun elektronu üzerine foton göndererek konum ve momentum değeri belirlenir.	Ö6: "Bir hidrojen atomunun tek elektronu üzerine foton gönderirim. Bu ışığın yansımaya göre elektronun konum ve momentumunu belirlerim."	3	75
	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	1) Tek elektronun konum ve momentumu defalarca ölçülür.	Ö9: "Bir tek hidrojen atomu alınır. Bu hidrojen atomunun konum ve momentumunu aynı koşullarda defalarca ölçeriz. Bulduğumuz değerlerin ortalama ve standart sapmalarını hesaplarız. Bulduğumuz ortalama gerçeğe en yakın değeri, standart sapmada hata payını ifade eder."	4	100

Tablo 4.11. incelendiğinde Kontrol Grubu öğrencileri uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında benzer yanıtlar verdikleri görülmektedir. Bu yanıtlarda, elektronun klasik fiziksel bir parçacık gibi düşünüldüğünü gösteren ifadeler vardır.

4.4.5. DPBİGF'nin Beşinci Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında beşinci soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların yüzdelik dağılımları tablo 4.12.' de yer almaktadır.

Tablo 4.12.
Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Beşinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Deney Grubu Uygulama Öncesi Yanıtları		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
5	1) Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır.	Ö3: "Aynı anda kuantum fiziksel parçacıkların hakkında bilgi edinmek mümkün değildir... belirsizliğin sebebi teknolojik yetersizlik olabilir. Çok küçük parçacıklara ulaşamamak onların dünyasında olamamak ve bu parçacıkların hızlı olmasından kaynaklanabilir. Işık hızıyla hareket ettiklerinden çok iyi denetleyemiyor olmamızdan kaynaklanıyor olabilir."	3	50
	2) Belirsizlik ilkesi ölçmenin doğasında kaynaklanır.	Ö1: "Belirsizlik ilkesi bir parçacığın konum ve momentum değişimlerinin birbiri ile ters orantılı olması durumudur. Bir parçacığın momentum değeri arttıkça, konum değeri azalıyor ve konum değeri arttıkça momentum değeri azalıyor... Bir elektronu belirlemek için o elektrona foton göndermeliyiz. Bu fotonun enerjisi, elektronun ölçüm almadan önceki konumunu ölçmemize izin vermez. Belirsizliğin sebebi budur."	2	33
	Deney Grubu Uygulama Sonrası Yanıtları			
	1) Belirsizlik ilkesi kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel büyüklükleri arasındaki komütasyon ilişkisine ve kuantum fiziksel parçacıkların yapısı gereği olası birçok konum ve momentum değerine sahip olmalarına bağlıdır.	Ö1: "Birbirinin komütü olan iki fiziksel büyüklüğü temsil eden operatörleri aynı deneyde, eş zamanlı olarak eş duyarlılıkta ölçemiyoruz... belirsizlik tek bir elektronun konum ve momentum ölçümleri sonucu elde edilmediğinden, gönderilen fotonun elektronun hızını değiştirmesiyle ilgili değildir. Belirsizlik kuantum fiziksel parçacıkların farklı yapılarından kaynaklanır. Parçacık ölçülene kadar birçok olası değere sahiptir..."	3	50
2) Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır.	Ö3: "Belirsizlik makroskobik parçacıkların iki fiziksel niceliğinin aynı anda eş duyarlılıkta ölçülememesine denir... Derste belirsizlik ilkesinin teknolojik yetersizlikle ilgisi olmadığını öğrenmiştik ama hala teknolojik yetersizlikten kaynaklandığını düşünüyorum. Belki bizim ufukumuzun sınırlılığı ile ilgili bir şey olabilir. Ölçü aletinin aynı anda iki fiziksel büyüklüğe odaklanamıyor olmasından olabilir yada kuantum fiziksel parçacıkların çok hızlı hareket ediyor olmasından kaynaklanıyor olabilir."	1	17	

Uygulama sonrası deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesindeki yanıtları birbirinden farklıdır. Uygulama sonrasında öğrenciler belirsizlik ilkesini komütasyon ilişkisinden yararlanarak açıkladıkları gibi belirsizlik ilkesi ile olasılık ilişkisini de belirtmişlerdir. Uygulama öncesinde Belirsizliğin teknolojik

yetersizlikten kaynaklandığı görüşünde uygulama sonrasında bir azalma gözlenmiştir.

Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesi ve uygulama sonrası dördüncü soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların dağılımı Tablo 4.13.'de verilmiştir.

Tablo 4.13.
Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Beşinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzelik Dağılımı

Soru No	Kontrol Grubu Öğrencileri Uygulama Öncesi Yanıtları		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipi	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
5	1) Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır.	Ö8: "Konum ve momentum birbirine bağlı büyüklüklerdir. Bu yüzden kuantum fiziksel bir parçacığın konumundaki belirsizlik artıkça momentumundaki belirsizlik azalacaktır... belirsizliğin sebebi ölçü aletleri ve parçacığın yapısından kaynaklanıyor olabilir. Ölçü aletinden kaynaklanan belirsizlik ölçme hatası olarak ele alınabilir. Burada asıl belirsizlik parçacıktan kaynaklanıyor. Çünkü kuantum fiziksel parçacıklar hem çok küçüktür, hem de çok hızlı hareket ediyorlar. Bu yüzden ölçü aletinden kaynaklanan hatayı azaltsak bile bu parçacığı tam olarak belirleyemeyiz."	3	%75
	Kontrol Grubu Öğrencileri Uygulama Sonrası Yanıtları			
		Öğrenci Görüşleri		
	1) Belirsizlik ilkesi ölçmenin doğasında kaynaklanır.	Ö10: "Belirsizlik ilkesi kuantum fiziksel parçacığın aynı anda iki fiziksel özelliğinin belirlenememesi ile ilgilidir...belirsizlik ilkesi elimizde olmayan sebeplerden kaynaklanıyor. Siyah cisim ışımasındaki koviteyi ele alırsak çok küçük bir boşluk var ve oradan ışık çıkmaz deniyor ama mutlaka çıkacaktır. Buradakine benzer bir durumdan söz ediyorum...bu durum teknolojik yetersizlik değil doğanın sınırlamasıdır..."	3	%75
2) Belirsizlik ölçme işleminin ölçüm sonucunu değiştirmesidir.	Ö9: "Belirsizlik ilkesi kuantum fiziksel bir parçacığın konumu ne kadar iyi ölçülürse momentumu o kadar kötü ölçülür, momentumu ne kadar iyi ölçülürse bu durumda parçacığın konumunun iyi ölçülemiyor olması durumudur... elektronu ölçmek için üzerine foton göndeririz. Foton elektronun hızını ve momentumunu değiştirir bu yüzden belirsizlik oluşur."	1	%25	

Uygulama öncesinde kontrol grubu öğrencilerinin belirsizlik ilkesine yönelik olarak verdikleri yanıtlardan belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıkların çok küçük ve hızlı olması nedeniyle teknolojik yetersizlikten kaynaklandığı görüşleri ağır basmaktadır. Uygulama sonrasında bu görüşün yerini kuantum fiziksel bir parçacığın kesin belirli bir konumu olduğu fakat bunu doğanın bir sınırlaması yüzünden ölçemediğimiz görüşü almıştır.

4.4.6. DPBİGF'nin Altıncı Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında altıncı soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların yüzdelik dağılımları tablo 4.14.' de yer almaktadır.

Tablo 4.14.

Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Altıncı Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdelik Dağılımı

Soru No	Deney Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
6	1) Belirsizlik ilkesi tek bir elektronun konum ve momentumundaki belirsizliği ifade eder.	Ö2: "Evet. Örneğin tek bir elektronun konumu ve momentumunu aynı anda defalarca ölçüp elde ettiğimiz değerleri kullanırız."	4	66
	Deney Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	1) Belirsizlik ilkesi birçok özdeş elektronun konum ve momentumundaki belirsizliği ifade eder.	Ö3: "...birçok ölçüme yönelik çıkarılan istatistiksel değerleri tek bir elektron için kullanıyoruz."	5	83

Deney Grubu öğrencileri uygulama öncesinde belirsizlik ilkesinin tek bir elektronunun konum ve momentumundaki belirsizlik olduğu yönünde görüş bildirirken uygulama sonrasında ise Belirsizlik İlkesinin birçok özdeş elektronun durumunu belirten istatistiksel bir işlem olduğu yönünde görüş bildirmişlerdir.

Kontrol grubu öğrencileri ile uygulama öncesi ve uygulama sonrası altıncı soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların dağılımı Tablo 4.15.'te yer almaktadır.

Tablo 4.15.
Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Altıncı Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Kontrol Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
6	1) Tek bir elektronun konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerdir.	Ö10: <i>“Tek bir elektronun konum ve momentumunun aynı anda, birçok kez ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerin ortalamasıdır.”</i>	2	50
	Kontrol Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	1)Tek bir elektronun konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerdir.	Ö8: <i>“Bir parçacığın farklı zamanlardaki ölçümleri sonucunda elde ediyoruz.”</i>	3	75

Kontrol grubu öğrencileri uygulama öncesinde belirsizliğin tek bir elektronunun konum ve momentumunun ölçülmesindeki belirsizlik olduğu yönündeki görüşte artma olmuştur.

4.4.7. DPBİGF'nin Yedinci Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney grubu öğrencileri ile uygulama öncesi ve uygulama sonrası altıncı soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların dağılımı Tablo 4.16.'de yer almaktadır.

Tablo 4.16.
Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Yedinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi Yanıtları		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
7	1) Δx kuantum fiziksel bir parçacığın bulunduğu iki konum arasındaki mesafedir.	Ö6: “ Δx konumdaki değişimi, Δp_x momentumdaki değişimdir... Δx kuantum fiziksel parçacığın iki konum ölçümü arasındaki mesafe olabilir...”	1	17
	Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrası Yanıtları			
	1) Δx kuantum fiziksel bir parçacığın olası değerlerinin dağılımını gösterir. Δx 'sin küçülmesi kuantum fiziksel parçacığın bulunma olasılığının azalacağı anlamına gelir.	Ö1: “ Δx ve Δp_x kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentum ölçümlerindeki belirsizliktir. Δx 'sin daralması o parçacığın bulunabileceği olası değerlerin azalması anlamına gelir. Bulunabileceği değerlerin azalması daha duyarlılık ölçüm yapabileceğimiz anlamını taşır. ”	3	50

Deney Grubu Öğrencileri uygulama sonrasında Δx ve Δp_x 'sin fiziksel anlamına yönelik daha doğru yanıtlar verdiği görülmektedir.

Kontrol grubu öğrencileri ile uygulama öncesi ve uygulama sonrası altıncı soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların dağılımı Tablo 4.17.'de yer almaktadır.

Tablo 4.17.
Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Yedinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Kontrol Grubu Uygulama Öncesi Yanıtları		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
7	Δx kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafedir. Δp_x bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki farktır.	Ö9: “ Δx 'kuantum fiziksel parçacığın iki konum ölçümü arasındaki mesafedir. Elektronun konumun ölçtüğümüzde gönderdiğimiz fotonlardan dolayı bir hız kazanacak ve yeri değişecektir. Elektronu ikinci kez ölçtüğümüzde bulduğumuz değerler, ilk ölçümde bulduğumuz değer arasındaki fark, kuantum fiziksel parçacığın konumundaki belirsizliği ifade eder. Δp_x 'ise parçacığın bulunduğu konumlarıdaki momentum değerleri arasındaki farktır. Elektronun yerini ölçmek için gönderdiğimiz ışık elektrona bir hız kazandırıyor. Elektronun momentumu farklılaşıyor. Parçacığın hızları arasındaki fark azalırsa, konumları arasındaki fark artacaktır. ”	2	50
	Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir.	Ö10: “ Δx 'sin anlamı aradığımız değer ölçmek istediğimiz değerden bu kadar farklı olabilir anlamına gelir... Δx elektronun iki konum ölçümü arasındaki mesafe değildir... Δp_x momentum için bir ölçüm aldığımızı fakat bu ölçümün gerçek ölçüme ne kadar yakın olduğunu gösterir. ”	1	25
	Kontrol Grubu Uygulama Sonrası Yanıtları			
	Δx kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafedir. Δp_x bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki farktır.	Ö9: Δx “kuantum fiziksel parçacığın iki konum ölçümü arasındaki mesafedir. Elektronun konumun ölçtüğümüzde gönderdiğimiz fotonlardan dolayı bir hız kazanacak ve yeri değişecektir. Elektronu ikinci kez ölçtüğümüzde bulduğumuz değerler, ilk ölçümde bulduğumuz değer arasındaki fark, kuantum fiziksel parçacığın konumundaki belirsizliği ifade eder. Δp_x ' parçacığın iki momentum değeri arasındaki farktır... aynı anda bir parçacığın hem konumu, hem de momentumu ölçülemeyeceği için Δp_x 'si oluşturan momentum değerleri ile Δx 'si oluşturan konum değerleri aynı ana ait değildir.”	2	50
Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir.	Ö10: “ Δx ve Δp_x standart sapma değerleridir. Klasik bir parçacığa yönelik olarak yapılan bir deneyde aynı fiziksel özellik için birçok ölçüm alıp elde ettiğimiz standart sapmayla aynı anlamdadır.”	1	25	

Kontrol Grubu öğrencilerinin uygulama öncesi ve uygulama sonrası yanıtlarında bir değişme olmadığı görülmektedir.

4.4.8. DPBİGF'nin Sekizinci Sorusuna Verilen Yanıtlar

Deney Grubu öğrencileri ile uygulama öncesi ve uygulama sonrası sekizinci soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların dağılımı Tablo 4.18.'de yer almaktadır.

Tablo 4.18.

Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası Sekizinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Deney Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
8	1) Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makroskobik evrende geçerli değildir.	Ö1: "Bilmiyorum ama makroskobik evrende geçerli olduğunu düşünmüyorum"	3	50
	2) Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makroskobik evrende geçerlidir fakat anlamlı sonuçlar vermez.	Ö2: "Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makro dünya da da geçerlidir fakat anlamlı sonuçlar vermez."	2	33
	Deney Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	1) Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makroskobik evrende geçerlidir fakat anlamlı sonuçlar vermez.	Ö3: "Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi makro evrendede geçerlidir fakat anlamlı sonuçlar vermez."	3	50
	2) Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makroskobik evrende geçerli değildir.	Ö6: "Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi makroskobik evrende uygulanamaz. Bir arabanın konumunu bildiğimizde hızını net bir şekilde belirleyebiliriz."	2	33

Deney Grubu öğrencilerinin uygulama öncesi sekizinci soruya verdikleri yanıtlarla uygulama sonrasında sekizinci soruya verdikleri yanıtlarda öne çıkan başlıklarda bir değişiklik yoktur. Fakat belirsizlik ilkesinin makroskobik evrende geçerli olduğu ve anlamlı sonuçlar vermediği yönündeki görüşte artış olmuştur.

Kontrol Grubu öğrencileri ile uygulama öncesi ve uygulama sonrası sekizinci soruya verdikleri yanıtlar ve bu yanıtların dağılımı Tablo 4.19.'de yer almaktadır.

Tablo 4.19.
Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi ve Uygulama Sonrası
Sekizinci Soruya Verdikleri Yanıtlar ve Yüzdeler Dağılımı

Soru No	Kontrol Grubu Uygulama Öncesi Öğrenci Görüşleri		Aktarılan görüşlerin paylaşımı	
	Yanıt Tipleri	Öğrenci Görüşleri	Frekans	%
8	1) Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makroskobik evrende geçerlidir. Fakat anlamlı sonuçlar vermez.	Ö1: "Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi makro evrende geçerlidir fakat büyük parçacıklar için bu belirsizlik çok küçüktür."	3	75
	Kontrol Grubu Uygulama Sonrası Öğrenci Görüşleri			
	1) Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makroskobik evrende geçerli değildir.	Ö8: "Makroskobik evrende ölçüm alması daha kolay olduğundan belirsizlik ilkesi geçerli değildir."	2	50
	2) Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makroskobik evrende geçerlidir. Fakat anlamlı sonuçlar vermez.	Ö1: "Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi makro evrende geçerlidir fakat büyük parçacıklar için bu belirsizlik çok küçüktür."	2	50

Kontrol grubu öğrencileri uygulama öncesinde belirsizlik ilkesinin makroskobik evrende geçerli olduğu fakat anlamlı sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir. Uygulama sonrasında ise belirsizlik ilkesinin makroskobik evrende geçerli olmadığı yönündeki görüşte artış vardır.

BÖLÜM 5

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç ve Tartışma

Bu bölümde, önceki bölümde söz edilen araştırma bulgularına ve yorumlarına dayalı olarak ulaşılan sonuçlara, bu sonuçlarla ilgili tartışmalara ve bu sonuçlar doğrultusunda geliştirilen önerilere yer verilmiştir.

Araştırmada, hibrit yaklaşımla yapılandırılmış öğretimin, öğrencilerin kuantum fiziği belirsizlik ilkesi'nin öğretiminde akademik başarıları, hatırd tutma düzeyleri üzerine etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Ayrıca öğrencilerin kuantum fiziği belirsizlik ilkesi, bu ilkeyle doğrudan ilgili olan kavramlara yönelik yanılgıları da belirlenmiştir. Aynı zamanda bu sonuçlar bizlere, kuantum fiziğinin öğrenilmesi güç noktalarını işaret etmektedir.

Aşağıda araştırmanın sonuçları problem cümlelerinin yanıtlarını içerecek şekilde belirli başlıklar altında sunulmuştur.

5.1.1. Hibrit Yaklaşım ile Geleneksel Öğretimin Akademik Başarı ve Hatırd Tutmaya Olan Etkileri

Araştırmada, hibrit yaklaşımla yapılandırılmış öğretimin, öğrencilerin kuantum fiziği Belirsizlik İlkesi'nin öğretiminde öğrencilerin akademik başarıları, hatırd tutma düzeyleri üzerine etkilerini incelenmiştir.

5.1.1.1. Kontrol Grubu ile Deney Grubundaki Öğrencilerin Uygulama Öncesinde Akademik Başarılarının Karşılaştırılması

Tablo 4.2’ de deney ve kontrol grubu öğrencilerinin “BİKS” ön ölçüm sonuçları incelendiğinde iki grubun ön ölçüm puanları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bu sonuç deney ve kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde akademik başarılarının birbirine yakın olduğu anlamına gelir.

5.1.1.2. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrencilerin Akademik Başarılarına Olan Etkisi

Tablo 4.2. incelendiğinde uygulama öncesinde deney grubu öğrencilerinin “BİKS” ön ölçüm puanlarının ortalaması 8,44’ iken, uygulama sonrasında ise 51,33 olarak ölçülmüştür. t-testi analiz sonuçlarına göre deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesi ve uygulama sonrası puanları arasında anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur. Deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesi başarı düzeyleri ile uygulama sonrası başarı düzeyleri arasında anlamlı bir fark olması, hibrit yaklaşımın öğrencilerin akademik başarısı üzerinde belirgin derecede etkili olduğunu ortaya koyar.

5.1.1.3. Geleneksel Öğretimin Öğrencilerin Akademik Başarılarına Olan Etkisi

Tablo 4.2. incelendiğinde uygulama öncesinde kontrol grubu öğrencilerinin “BİKS” ön ölçüm puanlarının ortalaması 8,28 iken, uygulama sonrasında ise 21,17 olarak ölçülmüştür. t-testi analiz sonuçlarına göre kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesi ve uygulama sonrası puanları arasında anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur. Bu sonuç kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesi başarı düzeyleri ile uygulama sonrası başarı düzeyleri arasında anlamlı bir fark olduğunu

ortaya koyar. Böylece geleneksel öğretimin öğrencilerin akademik başarısı üzerinde etkili olduğunu söyleyebiliriz.

5.1.1.4. Geleneksel Öğretim ile Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrencilerin Akademik Başarılarına Olan Etkilerinin Karşılaştırılması

Tablo 4,2'deki deney ve kontrol grubu öğrencilerinin "BİKS" son ölçüm sonuçları incelendiğinde deney grubu öğrencilerinin ortalamasının 51,33 kontrol grubu öğrencilerinin 21,17 olduğu görülmektedir. t-testi analiz sonuçlarına göre deney ve kontrol grubu öğrencilerinin uygulama sonrası başarıları arasında deney grubu öğrencilerinin lehine anlamlı bir fark vardır.

Uygulama öncesinde deney ve kontrol gruplarının akademik başarıları arasında anlamlı bir fark bulunmazken, uygulama sonrasında her iki grubun akademik başarısında bir artış olduğu gözlenmiştir. Fakat deney grubundaki artış kontrol grubundaki artışa oranla daha yüksektir. Bu sonuç uygulanan yaklaşımın geleneksel öğretime göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu sonuç hibrit yaklaşımın öğrencilerin akademik başarısını arttırdığını saptayan çeşitli araştırma bulgularını da desteklemektedir. Bilal (2005) lisans düzeyinde hibrit yaklaşımla yapılandırılmış öğretimin elektrostatik ünitesinin öğretiminde öğrencilerin akademik başarılarını arttırdığını ortaya koymuştur. Ramsier (2001) ise temel fizik dersinde aktif öğrenme stratejileri ile birleştirilen hibrit yaklaşımın öğrencilerin akademik başarılarını arttırdığını ifade etmiştir.

5.1.2. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Hatırda Tutmaya Etkisi

Aşağıda hibrit yaklaşım ve geleneksel öğretimin hatırd tutma düzeyine olan etkilerinin sonuçları ifade edilmiştir.

5.1.2.1. Deney Grubu Öğrencilerinin Son Ölçüm Puanları ile Geciktirilmiş Ölçüm Puanlarının Karşılaştırılması

Tablo 4.5. incelendiğinde uygulama öncesinde deney grubu öğrencilerinin “BİKS” son ölçüm puanlarının ortalaması 51,33 iken ve geciktirilmiş ölçüm puanları ise 40,72 olarak ölçülmüştür. t-testi analiz sonuçlarına göre deney grubu öğrencilerinin son ölçüm puanları ile geciktirilmiş ölçüm puanları arasında anlamlı bir fark olduğu saptanmıştır. Bu sonuç deney grubu öğrencilerinin uygulama sonucunda öğrendikleri bilgilerin uygulamadan iki ay sonra bir kısmını unuttuklarını ortaya koymaktadır.

5.1.2.2. Kontrol Grubu Öğrencilerinin Son Ölçüm Puanları ile Geciktirilmiş Ölçüm Puanlarının Karşılaştırılması

Tablo 4.5. incelendiğinde uygulama öncesinde kontrol grubu öğrencilerinin “BİKS” son ölçüm puanlarının ortalaması 23,16 ve geciktirilmiş ölçüm puanları ise 22,11 olarak ölçülmüştür. t-testi analiz sonuçlarına göre kontrol grubu öğrencilerinin son ölçüm puanları ile geciktirilmiş ölçüm puanları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bu sonuç kontrol grubu öğrencilerinin uygulama sonucunda öğrendikleri bilgileri uygulamadan iki ay sonrada hala korudukları şeklinde ifade edilebilir. Kontrol grubu öğrencilerinin son ölçüm puanının ve geciktirilmiş ölçüm puanının düşük olduğu göz önünde bulundurulursa, bu durum geleneksel öğretim yapılan grubun, düşük olan akademik başarısını koruduğu şeklinde yorumlanabilir.

5.1.2.3. Kontrol Grubu Öğrencileri ile Deney Grubu Öğrencilerinin Geciktirilmiş Ölçüm Puanlarının Karşılaştırılması

Tablo 4.4.’deki deney ve kontrol grubu öğrencilerinin “BİKS” geciktirilmiş ölçüm sonuçları incelendiğinde deney grubu öğrencilerinin ortalamasının 40,72 kontrol grubu öğrencilerinin 22,06 olduğu görülmektedir. t-testi analiz sonuçlarına

göre deney ve kontrol grubu öğrencilerinin geciktirilmiş ölçüm başarıları arasında deney grubu öğrencilerinin lehine anlamlı bir fark bulunduğu şeklinde yorumlanabilir.

5.1.3. Belirsizlik İlkesi ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar

Aşağıda belirsizlik ilkesi ile ilgili olan öğrenme güçlükleri ve yanılgılara ve bu öğrenme güçlükleri ve yanılgılarının giderilmesinde, hibrit yaklaşım ile geleneksel öğretimin etkileri üzerinde durulmuştur.

5.1.3.1. Uygulama Öncesinde Belirlenen Belirsizlik İlkesi ile İlgili Yanılgılar

Uygulama öncesinde, görüşme yapılan öğrencilerin belirsizlik ilkesi ile ilgili yanılgılarına yer verilmiştir.

5.1.3.1.1. Dalga Fonksiyonu ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar

Uygulama öncesi yapılan bu görüşmelerde dalga fonksiyonu kavramına yönelik yanılgılar aşağıdaki gibidir.

- Kuantum fiziksel dalgalar klasik harmonik dalgalardır (%70).
- Kuantum fiziksel dalgalar elektromanyetik dalgalardır (%20).
- Kuantum fiziksel dalgalar kuantum fiziksel parçacıkların yörüngesini ifade eder (%20).

- Kuantum fiziksel dalgalar kuantum fiziksel parçacıkların üzerinde etkili bir kuvvettir (%10).

Uygulama öncesinde kuantum fiziği dersini önceden almış öğrencilerle yapılan görüşmeler sonucunda bazı öğrencilerin kuantum fiziksel dalgaların farklı yapısını anlamakta güçlük çekmekte oldukları görülmektedir. Bu dalgaları anlamlandırabilmek için klasik fizikten bildikleri klasik dalgaları kullanmakta ve bu görüşle uyuşmayan durumlarda bu yöndeki görüşlerine eklentiler yapmakta olduklarını söyleyebiliriz. Bu öğrencilerin kuantum fiziksel dalgaları sabit genlikli tüm uzaya yayılmış dalgalar olarak tanımladıkları göz önünde bulundurulursa, öğrencilerin bu dalgaların kuantum fiziksel parçacıkların istatistiksel ve olasılık içeren yapısı hakkında bilgi taşıdıkları ve R^3 uzayında tanımsız olduğunu bilmediklerini söyleyebiliriz. Bu görüşü paylaşan öğrenciler kuantum fiziksel parçacıkları harmonik dalgalar olarak tanımladıktan sonra kuantum fiziksel parçacıkların yapılarını da bu görüşe uygun bir şekilde açıklama yoluna gitmişlerdir. Örneğin; bir öğrenci kuantum fiziksel bir parçacığın kuantum fiziksel dalgaların tepe ve çukur noktaları üzerinde dalga ile birlikte ilerlediğini ileri sürmüştür. Öğrencinin bu şekilde düşünmesinin sebebi kuantum fiziksel dalgaların genliğinin karesinin en büyük olduğu yerde parçacığın en fazla bulunma olasılığına sahip olduğu bu yüzden tepe ve çukur noktalarında parçacığın dalga ile birlikte ilerlediğini olabilir. Bazı öğrenciler kuantum fiziksel dalgaları, kuantum fiziksel parçacıkların yörüngesi olarak tanımlamışlardır. Bu düşünceye göre kuantum fiziksel parçacıklar uzayda sinüsoidal bir yörüngede zik zaklar çizerek ilerlerler. Bazı öğrenciler ise kuantum fiziksel dalgaları elektromanyetik dalgalar olarak tanımlamışlardır.

5.1.3.1.2. Belirsizlik İlkesi ile İlgili Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgılar

Uygulama öncesinde yapılan görüşmelerde ortaya çıkan bir başka önemli noktada “Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi” ile ilgili öğrenci yanılgılarıdır. Bu

görüşmeden elde edilen “Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi” ile ilgili bulguları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi teknolojik yetersizliklerden kaynaklanır (%30).
- Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi mikroskobik parçacıkların çok hızlı hareket etmesinden kaynaklanır (%20).
- Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi mikroskobik parçacıkların çok küçük olmasından kaynaklanır (%20).
- Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi ölçmedeki hatadan kaynaklanır (%20).

Uygulama öncesinde kuantum fiziği dersini önceden almış öğrencilerle yapılan görüşmeler sonucunda bazı öğrencilerin Heisenberg’in Belirsizlik İlkesinin farklı yapısını anlamakta güçlük çekmekte oldukları görülmektedir. Öğrenci görüşlerinde belirsizlik ilkesinin fiziksel anlamına yönelik en çok paylaşılan görüş belirsizlik ilkesinin teknolojik yetersizliklerden kaynaklandığı yönündedir. Bu görüşü, belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıkların çok küçük olmasından kaynaklandığını görüşü ve belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıkların çok hızlı hareket etmelerinden kaynaklandığı görüşü takip etmektedir. Öğrencilere göre kuantum fiziksel parçacıklar için belirsizlik ilkesinin geçerli olmasının sebebi hızlı ve küçük kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel büyüklüklerini ölçmek zordur ve ölçü aletleri bu özelliklere sahip parçacıkları ölçmekte güçlük çekmektedirler. Bu görüş belirsizlik ilkesinin teknolojik yetersizlikten kaynaklandığı görüşü ile ilişkilidir.

Kuantum fiziğinde öğrenilmesi güç noktalardan biride belirsizlik ve komütasyon ilişkisidir. Öğrenciler belirsizlik ilkesinin operatörlerin komüt olup olmaması ile olan ilişkisini açıklayamamışlardır.

Belirsizlik İlkesine yönelik bu yaklaşımlardan kuantum fiziksel parçacıkların belirlenemezlik ve olasılık içeren yapısının öğrenciler tarafından anlaşılamadığı, bu parçacıkları klasik parçacıklar gibi kesin ve belirli konuma sahip fakat boyutça küçük ve hızlı parçacıklar olarak düşündüklerini söyleyebiliriz.

Kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentumundaki belirsizliği ile ilgili sorulara verilen yanıtlarda aşağıdaki gibidir.

- Δx mikroskobik parçacıkların x doğrultusunda yaptıkları yer değiştirmedir. Δp_x momentumdaki değişimi ifade eder (%50).
- Δx ve Δp_x ölçmedeki hatadan kaynaklanır (%10).

Görüşme yapılan öğrencilerin bir bölümü kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentumundaki belirsizlikleri ifade eden Δx ve Δp_x 'i kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentumundaki değişimi ifade ettiğini düşündüklerini söyleyebiliriz. Bu düşüncenin temelinde de Δ ifadesinin genel olarak fiziksel özelliklerin değişimini ifade etmesi olabileceğini ileri sürebiliriz. Ayrıca kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentumundaki belirsizliğin, parçacıkların konum ve momentumu ölçülürken yapılan mutlak hata olduğu yönündeki görüş, kuantum fiziksel parçacıkların ölçüm yapmadan öncede kesin belirlenebilen bir konum ve momentumunun olduğu yanılgısından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Yine görüşmelerden elde edilen bir başka sonuçta da bazı öğrencilerin elektronların kesin belirli bir konuma sahip olduğunu düşündüklerini ifade etmeleridir.

5.1.3.2. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrenme Güçlüğü ve Yanılgılara Olan Etkisi

Uygulama öncesinde deney grubundan rasgele seçilen öğrencilerle yapılan görüşmelerde kuantum fiziği dalga kuramı ve Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ile ilgili çeşitli yanılgılara ve öğrenme güçlüklerine ulaşılmıştır. Uygulama sonrasında ise bu yanılgi ve öğrenme güçlüklerinin ne oranda giderildiğini belirlemek için aynı öğrencilerle tekrar görüşmeler yapılmıştır. Aşağıda bu görüşmelerden elde edilen bulguların sonuçlarına yer verilmiştir.

5.1.3.2.1. Deney grubu öğrencilerinin Uygulama Öncesi Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziksel dalgaların fiziksel özelliklerine yönelik verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade eder.(%33)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır.(%33)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliği, enerji ile ilişkilidir.(%33)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.(%33)

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin $y(x,t)$ dalga fonksiyonuna yönelik yanıtları, $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel dalgaların bulunma olasılığını ifade ettiğinin düşünüldüğünü ortaya koyar. Diğer yanıtlar ise $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun klasik dalgalar olarak düşünüldüğünü ortaya koyan yanıtlardır. Deney grubu öğrencileri ile uygulama öncesi yapılan görüşmelerde öğrencilerin (%66), $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun matematiksel ifadesi olarak sabit genlikli sinüsoidal harmonik bir dalgaya uygun matematiksel ifade tanımlamışlardır. Deney grubu öğrencileri uygulama öncesinde kuantum fiziksel dalgaları sabit genlikli tüm uzaya yayılmış dalgalar olarak ve bu dalgaların klasik dalgalarda olduğu gibi genliğinin büyük olduğu yerde enerjisinin de büyük olacağını düşünmektedirler. Bu yanıtlar uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziksel dalgaların fiziksel özelliklerini bilmediklerini ve öğrenme ortamına kuantum fiziksel dalgaları, klasik dalgalarla ilişkilendirerek geldiklerini ortaya koyan niteliktedir. $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun elektromanyetik dalgalarla kurulan bağlantısı ise, öğrencilerin kuantum fiziksel dalgaları elektronların, ilerlerken çevrelerine yaydıkları dalgalar olarak algıladıklarını ortaya koyar.

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin elektronun yapısına yönelik düşünceleri aşağıdaki gibidir.

- Elektronlar çok küçük olduğundan ölçü aletleri tarafından net bir şekilde ölçülemezler (%17).
- Elektron tüm uzaya dağılmıştır (%17).

Bu yanıtlar uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin elektronun klasik parçacıklara benzer özellikler taşıyan küçük modeller olarak düşündüklerini ortaya koyan yanıtlardır. Öğrencilere göre elektronlar çok küçük bu yüzden de bu kadar

küçük bir nesnenin fiziksel özellikleri net bir şekilde ölçülemiyor. Bu yanıtlardan ortaya çıkan bir başka nokta ise, elektronun dalga özelliği taşıdığı yönündeki yanıtıdır.

Bu yanıtın temelinde Feynman'ın ifade ettiği gibi tek ölçüm ve çoklu ölçümün fiziksel anlamlarının net bir şekilde anlaşılammış olması yatıyor olabilir.

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziğindeki belirsizliğin kaynağına yönelik yanıtları aşağıdaki gibidir.

- Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır. (%50)
- Belirsizlik ilkesi ölçmenin doğasında kaynaklanır.(%33)
- Ölçme işlemi sırasında elektron üzerine gönderilen foton elektronun konumunu değiştir bu yüzden kuantum fiziksel bir parçacığın konumu kesin olarak belirlenemez.(%33)

Deney grubu öğrencileri uygulama öncesinde belirsizlik ilkesini teknolojik yetersizliğe ve ölçmenin doğasından kaynaklandığı yönündeki görüşler ağırlıktadır. Belirsizlik ilkesinin teknolojik yetersizlikten kaynaklandığı yönündeki görüş, atomik parçacıkların klasik parçacıkların küçültülmüş modelleri olduğu yönündeki düşünceyle ilişkilendirilebilir. Bu parçacıklar küçük olduğundan kesin ölçüm almak güçleşmekte bu yüzden de yaklaşık olarak ölçülmekte olduğu düşünülmektedir. Belirsizlik ilkesinin ölçmenin doğasından kaynaklandığı yönündeki görüş de bu doğrultuda bir görüştür. Bu görüşe göre de atomik parçacıklar, klasik parçacıklar gibi kesin ve belirli bir konumu olan parçacıklardır ve ölçme işlemi sonucu elde edilen değer gerçek değer değil ona yakın bir değerdir. Belirsizlik bu yüzden kaynaklanmaktadır.

Deney grubu öğrencilerinin Δx ve Δp_x 'sin fiziksel anlamına yönelik verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

- Δx kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafedir. Δp_x bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki farktır. (%75)
- Konum ve momentumdaki belirsizlik elektronunun konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi ile elde edilir. (%50)
- Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir. (%25)
- Belirsizlik ilkesi tek bir elektronun konum ve momentumundaki belirsizliği ifade eder. (%6)

Kuantum fiziksel bir parçacığın konum ve momentumunun defalarca ölçülerek bulunacağını düşünülmesi, yine kuantum fiziksel parçacıkların klasik parçacıklar gibi düşünüldüğünü ortaya koyan bir yanıttır. Klasik bir sistemin kesin ve belirlenebilen bir fiziksel özelliği ölçülürken, hata kaynaklarının sonuca etkisini azaltabilmek için aynı sistemler üzerine, defalarca ölçüm alınması gibi kuantum fiziksel bir parçacığın fiziksel özelliklerinin de defalarca ölçüldüğü, bu yolla gerçek değere en yakın sonuç elde edildiği düşünülmektedir. Bu yanıtta belirsizlik ilkesinin ölçmedeki hata olduğunu düşünüldüğünü ortaya koyan bir yanıttır. Ayrıca deney grubu öğrencileri genel olarak belirsizliği konum ve momentumun defalarca ölçülerek elde edilen değerlerin ortalaması olarak düşünürken Δx ve Δp_x ifadelerinin kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentum değişimlerini ifade ettiğini düşünmeleri çelişkili bir durumdur. Δ ifadesinin fizikte değişimi ifade etmesinden dolayı, bu yönde ifadeler kullanılmış olabilir.

5.1.3.2.2. Deney grubu öğrencilerinin Uygulama Sonrası Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları

Deney grubu öğrencilerinin uygulama sonrası $y(x,t)$ dalga fonksiyonuna yönelik yanıtları aşağıdaki gibidir.

- $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun tek başına fiziksel bir anlamı yoktur. Özdeş birçok parçacığın istatistiksel bilgisini taşır. (%83)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.(%17)

Deney grubu öğrencilerinin büyük çoğunluğu uygulama sonrasında $y(x,t)$ dalga fonksiyonun fiziksel özelliği olmadığını ve özdeş kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel özelliklerine yönelik istatistiksel bir fonksiyon olduğu yönünde kabul edilebilir yanıtlar vermişlerdir. Ayrıca uygulama sonrası deney grubu öğrencilerinin hepsi dalga fonksiyonunun matematiksel ifadesini doğru olarak yazabilmişlerdir.

Deney grubu öğrencilerinin elektronun yapısına yönelik uygulama sonrası yanıtları aşağıdaki gibidir.

- Elektronun kesin belirli bir konumu yoktur.(%33)
- Ölme işlemi ölçüm sonucunu değiştirir. Bu yüzden kuantum fiziksel bir parçacığın konumu kesin olarak belirlenemez.(%33)

Uygulama sonrası deney grubu öğrencileri elektronun kesin olarak belirlenebilen bir konumu olmadığı yönünde ifadeler kullanmıştır. Fakat bazı öğrenciler ölçme işleminin ölçüm sonucunu değiştirmesi nedeniyle kuantum fiziksel parçacıkların konumlarının kesin olarak belirlenemeyeceğini ifade etmesi bu öğrencilerin kuantum fiziksel parçacıkları klasik parçacıklar gibi düşündüklerini ve

kuantum fiziksel parçacıkların ölçme işleminden önce kesin belirlenebilen bir konumları olduğunu düşündüklerini ortaya koyar.

Deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziğindeki belirsizliğin kaynağına yönelik uygulama sonrası verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

- Belirsizlik ilkesi birçok özdeş elektronun konum ve momentumundaki belirsizlikle ilgilidir. (%83)
- Belirsizlik ilkesi kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel büyüklükleri arasındaki komütasyon ilişkisine ve kuantum fiziksel parçacıkların olası birçok konum ve momentum değerini ifade eder. (%50)
- Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır.(%17)

Deney grubu öğrencilerinin uygulama sonrası belirsizlik ilkesinin yapısına yönelik verdikleri yanıtlardan, öğrencilerin belirsizlik ilkesinin tek bir kuantum fiziksel parçacıkla ilgili olmadığı özdeş birçok kuantum fiziksel parçacığı ifade ettiğini düşündükleri belirlenmiştir. Ayrıca öğrenciler kuantum fiziğinde konum ve momentumdaki belirsizliği, kuantum fiziksel parçacığın konum ve momentumunun olası değerlerini ifade ettiğini belirtmişlerdir ve belirsizlik ilkesini komütasyon bağıntısıyla ifade etmişlerdir. Uygulama sonrasında deney grubu öğrencilerinin belirsizlik ilkesine yönelik yanıtları belirsizlik ilkesinin yapısına yönelik doğru yanıtlardır. Az sayıda öğrenci ise belirsizlik ilkesinin teknolojik yetersizlikten kaynaklandığı yönünde görüş bildirmiştir. Bu görüş deney grubu öğrencilerinin uygulama sonrasında kuantum fiziksel parçacıkları klasik parçacıklar gibi düşündüklerini ortaya koyar.

Deney grubu öğrencilerinin Δx ve Δp_x 'sin fiziksel anlamına yönelik uygulama sonunda verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

Δx ve Δp_x özdeş birçok kuantum fiziksel parçacığın yarısının konumu yarısında momentumu ölçülerek elde edilen değerlerin standart sapmalarını ifade eder.(%100)

Δx kuantum fiziksel bir parçacığın olası değerlerinin dağılımını gösterir. Δx 'sin küçülmesi kuantum fiziksel parçacığın bulunma olasılığının azalacağı anlamına gelir.(%50)

5.1.3.2.3. Hibrit Yaklaşımla Öğretimin Öğrenme Güçlüklerinin ve Yanılgıların Giderilmesindeki Etkileri

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin %33'ü $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun sabit genlikli sinüzoidal bir dalga olduğunu ifade ederken, %33'ü ise bu düşünceyi destekleyecek bir ifade olan dalga fonksiyonunun genliğinin enerji ile ilişkili olduğu yanıtını vermiştir. Diğer görüşler ise dalga fonksiyonunun elektromanyetik dalga olduğu ve dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığı ifade ettiği şeklindedir. Ayrıca deney grubu öğrencileri $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun matematiksel ifadesi olarak sabit genlikli sinüzoidal bir dalganın matematiksel ifadesini yazmışlardır. Uygulama sonrasında ise deney grubu öğrencilerinin %83'ü $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun tek başına fiziksel bir anlamı olmadığı özdeş birçok kuantum fiziksel parçacığın istatistiksel bilgisini taşıdığı yönünde görüş bildirmişlerdir.

Uygulama öncesi deney grubu öğrencileri elektronun yapısıyla ilgili net bir görüş bildirmemişlerdir. Öğrencilerin %17'si elektronların çok küçük olmalarından dolayı net bir şekilde ölçülemeyeceğini ifade ederken, %17'si ise elektronun tüm uzaya dağılmış olduğu yönünde görüş bildirmiştir. Uygulama sonrası ise öğrencilerin %33'ü elektronların kesin olarak belirlenebilecek bir konumu olmadığını ifade etmelerine rağmen %33'ü ise elektronların ölçme işleminin ölçüm sonucunu değiştirmesi nedeniyle kesin olarak konum değerinin ölçülemeyeceğini ifade etmişlerdir.

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin %50'si belirsizliğin kaynağı olarak teknolojik yetersizliği gösterirken, %66'sı ise belirsizliğin ölçmenin doğasından kaynaklandığını düşündüklerini ifade etmişlerdir. Uygulama sonrası ise bu öğrencilerin %83'ü belirsizliğin birçok özdeş parçacıkla ilgili olduğunu ifade ettikleri gözlenmiştir. Bu öğrencilerin %50'si ise belirsizlik ilkesinin komütasyon bağıntısı ile olan ilişkisini ifade etmişlerdir. %17'si ise belirsizlik ilkesinin teknolojik yetersizlikten ileri geldiği yönündeki görüşünü sürdürdüğü görülmektedir.

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin %50'si kuantum fiziksel bir parçacığın konum ve momentumundaki belirsizliği bir parçacığın konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerle ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. Uygulama sonrası ise bu öğrencilerin %100'ü konum ve momentumdaki belirsizliğin özdeş birçok kuantum fiziksel parçacığın konum ve momentumunun ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerin standart sapması olduğunu belirtmişlerdir.

Uygulama öncesi deney grubu öğrencilerinin %75'i Δx 'i kuantum fiziksel bir parçacığın iki konumu arasındaki mesafe olarak, Δp_x 'ise bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki fark olarak tanımlamışlardır. %25' ise Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleri olduğunu belirtmişlerdir. Uygulama sonrasında ise öğrencilerin %100'ü Δx ve Δp_x 'sin özdeş birçok kuantum fiziksel parçacığın yarısının konumu yarısında momentumu ölçülerek elde edilen değerlerin standart sapmalarını ifade ettiğini belirtmişlerdir. Öğrencilerin %50'si ise Δx 'in kuantum fiziksel bir parçacığın olası değerlerinin dağılımını gösterdiğini Δx 'in küçülmesi kuantum fiziksel parçacığın bulunma olasılığının azalacağı anlamına geldiğini ifade etmiştir.

Bu sonuçlara bakarak, Hibrit yaklaşımın, Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ve bu ilkeyle ilgili kavramların anlaşılmasında etkili olduğu sonucuna ulaşabiliriz.

5.1.3.3. Geleneksel Öğretimin Öğrenme Güçlüğü ve Yanılgılara Olan Etkisi

Uygulama öncesinde kontrol grubundan rasgele seçilen öğrencilerle yapılan görüşmelerde kuantum fiziği dalga kuramı ve Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ile ilgili çeşitli yanılgılara ve öğrenme güçlüklerine ulaşılmıştır. Uygulama sonrasında ise bu yanılı ve öğrenme güçlüklerinin ne oranda giderildiğini belirlemek için aynı öğrencilerle tekrar görüşmeler yapılmıştır.

5.1.3.3.1. Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesi Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları

Uygulama öncesi kontrol grubu öğrencilerin $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun fiziksel anlamına yönelik verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliği, enerji ile ilişkilidir.(%75)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu parçacığın yörüngesini ifade eder.(%50)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.(%25)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade eder.(%25)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır.(%25)

Uygulama öncesi kontrol grubu öğrencilerinin $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun fiziksel anlamına yönelik yanıtları çeşitlilik göstermektedir. Kontrol grubu öğrencileri tarafından $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliğinin enerjiyi ifade ettiği görüşü ön plana çıkmaktadır. Bu görüş, $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun klasik

dalgalarla benzer bir yapıya sahip olduğunun düşünüldüğünü gösterir. Ayrıca kontrol grubu öğrencilerinin %75'i $y(x,t)$ dalga fonksiyonun matematiksel ifadesini yazamamışken, (%25) ise sabit genlikli sinüzoidal harmonik bir dalgaya uygun matematiksel ifade yazmıştır.

$y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalga olduğu ve $y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalga olduğu yönündeki görüşlerde dalga fonksiyonunun klasik bir dalga olduğu yönündeki görüşü destekler niteliktedir.

Uygulama öncesi kontrol grubu öğrencilerinin verdikleri yanıtlardan birisi $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel parçacıkların yörüngesini ifade ettiğidir.

Uygulama öncesi görüşme yapılan öğrencilerin bir kısmı ise $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade ettiğini belirtmiştir.

Uygulama öncesi kontrol grubu öğrencilerinin kuantum fiziğindeki belirsizliğin kaynağına yönelik verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

- Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır.(%75)
- Kuantum fiziksel parçacıklar hızlı ve küçük parçacıklardır. Bu yüzden kuantum fiziksel parçacıkları ölçmek güçtür. (%50)

Uygulama öncesi kontrol grubu öğrencileri belirsizlik ilkesinin teknolojik yetersizlikten kaynaklandığı yönünde görüş bildirmişlerdir. Öne çıkan diğer bir yanıt ise kuantum fiziksel parçacıkların çok küçük ve hızlı olmalarıdır. Bu iki yanıtta belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıkların klasik parçacıkların küçük ve hızlı modelleri olarak düşünüldüğünü ortaya koyar.

Kontrol grubu öğrencilerinin Δx ve Δp_x 'sin fiziksel anlamına yönelik uygulama öncesinde verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

- Belirsizlik ilkesi tek bir elektronun konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerle ilgilidir. (%50)
- Δx kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafedir. Δp_x bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki farktır. (%50)
- Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir. (%25)

Uygulama öncesi kontrol grubu öğrencilerinin, belirsizlik ilkesinin tek bir elektronun konum ve momentumunun ölçülmesindeki belirsizlik olduğunu ifade ettikleri görülmektedir. Ayrıca Δx ve Δp_x ifadelerinin kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentum değişimlerini ifade ettiğini düşünmeleri çelişkili bir durumdur. Δ İfadesinin fizikte değişimi ifade etmesinden dolayı, öğrenciler bu yönde ifadeler kullanmış olabilir.

5.1.3.3.2. Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrası Öğrenme Güçlükleri ve Yanılgıları

Uygulama sonrası kontrol grubu öğrencilerinin $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun fiziksel özelliğine yönelik verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu, kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade eder. (%75)
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliği, enerji ile ilişkilidir. (%50)

- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır. (%25)

Uygulama sonrası kontrol grubu öğrencileri $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade ettiğini belirtmişlerdir. Diğer görüşler ise $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun klasik dalgalara benzer yapıda olduğu yönündedir. Ayrıca kontrol grubu öğrencilerinin %75'i $y(x,t)$ dalga fonksiyonun matematiksel ifadesini yazamamış, %25'i ise sabit genlikli sinüsoidal harmonik bir dalgaya uygun matematiksel ifade yazmıştır.

Kontrol grubu öğrencilerinin Belirsizlik ilkesi ve belirsizliğin yapısına yönelik görüşleri aşağıdaki gibidir.

- Belirsizlik ilkesi ölçmenin doğasında kaynaklanır.(%75)
- Kuantum fiziksel parçacıklar hızlı ve küçük parçacıklardır. Bu yüzden bu parçacıkları ölçmek güçtür.(%50)

Kontrol grubu öğrencileri belirsizliğin yapısının ölçmenin doğasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu görüşe göre kuantum fiziksel bir parçacığın ölçümünden önce kesin bir değeri vardır. Ölçme işlemi sisteme etki ettiğinden elde edilen değer gerçek değer değildir. Diğer görüş ise kuantum fiziksel parçacıkların belirsizliğinin sebebi hızlı ve küçük parçacıklar olmasıdır. Bu görüş belirsizliğin kaynağının teknolojik yetersizlik olduğu yönündeki görüşle ilişkilidir.

Kontrol grubu öğrencilerinin Δx ve Δp_x 'sin fiziksel anlamına yönelik uygulama sonunda verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.

- Tek bir elektronun konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerdir.(%100)

- Δx kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafedir. Δp_x bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki farktır. (%50)
- Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir. (%25)

Uygulama sonrası kontrol grubu öğrencileri belirsizlik ilkesinin tek bir elektronun konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerin standart sapmalarının hesaplanması yoluyla elde edildiği yönünde görüş bildirmişlerdir. Δx ve Δp_x 'sin konum ve momentum ölçümlerindeki hata olarak ifade edilmesi, kuantum fiziksel sistemlerin klasik sistemler gibi düşünüldüğünü ölçmeden önce, ölçülen fiziksel niceliğin kesin ve belirlenebilen bir konumu olduğunun düşünüldüğünü göstermektedir.

5.1.3.3.3. Geleneksel Öğretimin Öğrenme Güçlüklerinin ve Yanılgıların Giderilmesindeki Etkileri

Uygulama öncesi kontrol grubu öğrencilerin $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun fiziksel anlamına yönelik yanıtların %75'i $y(x,t)$ dalga fonksiyonun klasik dalgalara benzer özellikler gösterdiği yönündedir. Öne çıkan diğer bir görüş ise $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel parçacıkların yörüngesini ifade ettiğidir. Uygulama sonrasında ise öğrencilerin %50'si $y(x,t)$ dalga fonksiyonun klasik dalgalara benzer özellikler gösterdiğini ifade etmişlerdir. Uygulama öncesinde öğrencilerin %25 'i $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade ettiği yönündeki görüşü %75'e çıkmıştır. Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesi ve uygulama sonrasında $y(x,t)$ dalga fonksiyonuna yönelik yanılgılara sahip olduklarını ve dalga fonksiyonun kuantum fiziğinde anlaşılması güç bir kavram olduğunu söyleyebiliriz.

Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde belirsizlik ilkesi ve belirsizliğin yapısına yönelik yanıtlarında öğrencilerin %75'i belirsizlik ilkesinin

teknolojik yetersizlikle ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Öğrencilerin %50'si ise belirsizliğin sebebini kuantum fiziksel parçacıkların çok küçük ve çok hızlı olmasına bağlamıştır. Bu iki görüş birbirine paraleldir ve temelinde kuantum fiziksel parçacıkların ölçümden öncede kesin ve belirli bir konuma sahip olduğu, kuantum fiziksel parçacıkların klasik parçacıkların küçültülmüş modelleri olduğu görüşü yatmaktadır. Kontrol grubu öğrencilerinin uygulama sonrası yanıtlarında bir değişme olmamıştır.

Kontrol grubu öğrencileri uygulama öncesinde Δx ve Δp_x 'sin fiziksel anlamına yönelik uygulama öncesi verdikleri yanıtlarda öğrencilerin %50'si belirsizlik ilkesinin tek bir elektronun konum ve momentumunun ölçülmesindeki belirsizlik olarak tanımladıkları görülmektedir. Öğrencilerin %50'si Δx 'i kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafe ve Δp_x 'si bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki fark olarak tanımlamıştır. Öğrencilerin %25'ine göre Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir. Uygulama sonrasında ise öğrencilerin %100'ü belirsizliğin tek bir elektronun konum ve momentumundaki belirsizlikle ilgili olduğu yönünde görüş bildirmiştir. %75'i Δx 'i kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafe ve Δp_x 'i bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki fark olarak tanımlamıştır. %25'ine göre Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir.

Sonuç olarak kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesi yanıtları ile uygulama sonrası yanıtlarına baktığımızda, geleneksel öğretimin öğrencilerin kuantum fiziğinin temel kavramlarına yönelik yanılgıları ve öğrenme güçlüklerini azaltmadığı gibi yeni yanılgılara ve öğrenme güçlüklerine sebep olduğunu söyleyebiliriz.

5.1.4. Deney Grubu ile Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Öncesindeki Yanıtlarının Karşılaştırılması

Deney ve kontrol grubu öğrencilerin uygulama öncesi yanıtlarından ortak olanlar aşağıdaki gibidir.

- $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun genliği, enerji ile ilişkilidir.
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu elektromanyetik bir dalgadır.
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu kuantum fiziksel parçacıkların bulunma olasılığını ifade eder.
- $y(x,t)$ dalga fonksiyonu sabit genlikli, tüm uzaya yayılmış harmonik bir dalgadır.
- Belirsizlik ilkesi teknolojik yetersizlikten kaynaklanır.
- Belirsizlik ilkesi tek bir elektronun konum ve momentumunun defalarca ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerle ilgilidir.
- Belirsizlik ilkesi ölçmenin doğasında kaynaklanır.
- Δx kuantum fiziksel parçacığın iki konumu arasındaki mesafedir. Δp_x bu konum değerlerinde parçacığın sahip olduğu momentum değerleri arasındaki farktır.
- Δx ve Δp_x mutlak hatayı gösteren standart sapma değerleridir.

5.1.5. Deney Grubu ile Kontrol Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrasındaki Yanıtlarının Karşılaştırılması

Uygulama sonrasında deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ortak yanılgıları yoktur.

5.2. Öneriler

Kuantum fiziği öğretimi üzerine yurt dışında birçok çalışma yapılmaktadır. Fakat Türkiye’de bu konuda çok fazla çalışmaya rastlanamamıştır. Teknolojik gelişmelerin temelinde kuantum fiziği araştırmalarının olduğunu göz önünde bulundurulursa gelişmiş ulusların kuantum fiziği öğretimi üzerinde neden bu kadar durduklarını anlamak güç olmaz. Teknolojik gelişmelerin gerisinde kalmamak ve bizlerin de gelişmiş ulusların bulunduğu çizgiye ulaşmamızda kuantum fiziği öğretiminin payının önemli olduğunu ve bu yüzden lisans düzeyinde kuantum fiziği ve ortaöğretim düzeyinde modern fizik konularının öğretimi üzerine çalışmaların yoğunlaşmasının yararlı olacağını söyleyebiliriz.

Bu araştırmada kuantum fiziğinin temel olarak anlaşılmasının sebebinin diğer birçok çalışmada ortaya konulduğu gibi kuantum fiziği kavramlarının klasik fizik kavramları ile açıklanmaya çalışılması olduğu görülmektedir. Bu yüzden kuantum fiziğinin olasılık ve belirsizlik içeren yapısının öğrencilerce anlaşılmasını sağlayacak öğretim yöntemlerine başvurmak gerekir. Alanyazında fiziğin daha etkili öğretimine yönelik yapılan birçok çalışmada aktif eğitim yöntemlerinin öğrencilerin akademik başarı, kavramsal anlama düzeyi ve buna benzer birçok alanda öğrencilerin başarısını arttırdığı ortaya konulmuştur. Bu araştırmada da aktif eğitim yöntemlerinden Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi konusuna uygun olan tekniklerin bir araya getirilmesi ile bir hibrit yaklaşım oluşturulmuştur ve bu yaklaşımın öğrencilerin akademik başarıları ve kavramsal anlama düzeylerinde başarılarını arttırdığı gözlenmiştir. Probleme dayalı öğretim, işbirlikli öğretim, araştırma ve soruşturmaya dayalı öğretim gibi farklı öğretim yöntemlerinin klasik fizik

konularının öğretimindeki etkileri gerek yurt içinde gerekse yurt dışında yapılan çalışmalarla araştırılmasına rağmen, bu yöntemlerin kuantum fiziği konularının öğretimdeki etkileri üzerine çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Kuantum fiziğinin farklı yapısı göz önünde bulundurulursa bu tür çalışmaların kuantum fiziği kavramlarının öğretimde de etkilerinin araştırılması yararlı olabilir.

Araştırmanın uygulamaları süresince gerek deney gerekse kontrol grubu öğrencilerin derslerde klasik fiziğe ve yaşadıkları dünyadan elde ettikleri somut deneyimlerine ters düşen bir fiziği kabul etmekte güçlük çekmekte oldukları görülmüştür. Bu durum kuantum fiziği öğretimini güçleştirmektedir. Kuantum fiziğinin öğretiminde bu durumun göz önünde bulundurulması ve bu olumsuzluğu ortadan kaldırarak, öğrencilerin kuantum fiziği kavramlarını klasik fizik kavramlarından bağımsız bir şekilde düşünebilmelerini sağlayacak yeni yaklaşımlara gerek vardır. Ayrıca, bu çalışmada öğrencilerin kuantum fiziği belirsizlik ilkesi, kuantum fiziği dalga kuramı, kuantum fiziksel parçacıkların yapısını öğrenmede güçlük çektikleri ortaya konulmuştur. Kuantum fiziği kavramlarına yönelik öğrencilerin sahip oldukları yanlışlar ve öğrenme güçlüklerinin belirlenmesi özellikle kuantum fiziğinin matematiksel yapısının incelenmesi yararlı olabilir.

Araştırmada ders içeriği hazırlanırken özellikle kuantum fiziğinin istatistiksel yapısını anlaşılır kılmak için klasik anlamda istatistik bilgisine başvurulmuştur. Ayrıca klasik ve kuantum fiziği kavramlarının ölçme kavramları arasındaki fark ortaya konulmaya çalışılmıştır. Gerek alanyazında yapılan çalışmalar gerekse bu araştırma süresince edinilen deneyimler kuantum fiziği kavramlarının klasik istatistik ve olasılık bilgisiyle ilişkilendirilerek açıklanması ve klasik ölçme kavramı ile kuantum fiziği ölçme kavramlarının arasındaki farklılıkların daha net ortaya konulmasının kuantum fiziğinin öğretimini kolaylaştırabileceğini öne sürebiliriz.

KAYNAKÇA

Abhang, R.Y. (2005). Making Introductory Quantum Physics Understandable and Interesting. *Resonance*. 10, 63-73.

Açıkgöz, K. Ü. (2000). *Etkili Öğrenme ve Öğretme*. (3. Basım). İzmir: Kanyılmaz Matbaası.

Açıkgöz, K. Ü. (2003). *Aktif öğrenme*. (3. Basım). İzmir: Eğitim Dünyası Yayınları.

Akarsu, B. (2007). Students' Misconceptual Understanding of Quantum Physics in College Level Classroom Environments. Unpublished Doctoral Dissertation, Indiana Universty, Faculty of the Graduate School.

Aylward, K. (2006). Quantum Mechanics: The Ensemble Interpretation. <http://www.kevinaylward.co.uk/qm/index.html> (10/05/08).

Bağcı, B. ve Şimşek, S. (1999). Fizik Konularının Öğretiminde Farklı Öğretim Metodlerinin Öğrenci Başarısına Etkisi. *G.Ü. Eğitim Fakültesi Dergisi*. 19, 79-88.

Bell, J. S. (1987). *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University press.

Bergström, L., Johanson, K.E. and Nilson, C.H. (2001). The Physics of Copenhagen for Students and the General Public. *Physics Education*. Special Feature: Nuclear Physics, 388-393.

Bethge, T. and Niedderer, H. (1996). Students' Conceptions in Quantum Physics. <http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1995-AJP-TBHN.pdf> (12/05/08)

Bickman, L. and Rog, D. (1998). *Handbook of Applied Social Research Methods*. Thousand Oaks, C.A: Safe.

Bilal, E. (2005). Lisans Düzeyinde Elektrostatik Konusunun Hibrit Yaklaşımla Öğretimi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

Bilal, E. and Erol, M. (2007). Student Understanding of Some Quantum Physical Concepts: Wave Function, Schrödinger's Wave Equation and Wave-Particle Duality. *American Institute of Physic*. 899- 499.

Bozdemir, S. ve Eker, S. (2007). Kuantum Kuramının Evrimi ve Klasik Kuantum Kuramı. *Bilim ve Ütopya*. 160, 38-40.

Çalışkan, S. (2002). Kuantum Fiziği Dersi Öğretim Programı Tasarısı: Harmonik Osilatör Örneği, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

Çalışkan, S. (2007). Problem Çözme Stratejileri Öğretiminin Fizik Başarısı, Tutumu, Özyeterliliği Üzerindeki Etkileri ve Strateji Kullanımı. Yayınlanmamış Doktora Tezi, D.E.Ü. Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

Çepni, S. (2007). *Araştırma ve Proje Çalışmalarına Giriş*. Trabzon: Celepler Matbaacılık.

Charles, L. H., Abegg, G. and Garik, P. (1999). How Computer Simulations Affect High School Students' Reasoning in Quantum Chemistry. Paper presented at the annual meeting of National Association for Research in Science Teaching. <http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34> (12/05/08)

Doğanay, A. (2007). *Öğretim İlke ve Yöntemleri*. Ankara: Pegama Yayıncılık.

Duch, B.J. (1995). Problem-Based Learning in Physics: The Power of Students Teaching Students. *About Teaching*. 47, 1-3.

Erol, M. (2008). Philosophy and Instruction of Quantum Physics (QP). *Balkan Physics Letter*. Special Issue, 16-24.

Ertaş, İ. (1993). *Denel Fizik Dersleri-Cilt I*. (5. Basım). İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.

Euler, M., Hanselmann, M., Müller, A. and Zollmann, D. (1999). **Students' Views of Models and Concepts in Modern Physics**. Paper presented at the annual meeting of National Association for Research in Science Teaching. <http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34> (12/05/08)

Fischler, H. (1999). **Introduction to Quantum Physics-Development and Evaluation of a New Model Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics**. Paper presented at the annual meeting of National Association for Research in Science Teaching.

<http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34> (12/05/08)

Müller, R. and Wiesner, H. (1999). **Students' Conceptions of Quantum Physics**. Paper presented at the annual meeting of National Association for Research in Science Teaching.

<http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34> (12/05/08)

Feynman, R., Leighton, R. and Sands, M. (1965). *The Feynman Lectures on Physics vol. III*. Menlo Park: Addison-Wesley.

Fletcher, P. and Johnson, I. (1999). **Quantum Mechanics: Exploring Conceptual Change**. Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching.

<http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34> (12/05/08).

Gagne, N.L. and Berliner, D.C. (1984). *Educational Psychology*. Boston: Houghtonmifflin.

Gasirowicz, S. (1974). *Quantum Physics*. New York: John Wiley & Sons.

Glazar, S.A. and Vrtacnik, M. (1992) Misconception of Chemical Concepts, Kemijav soli Slovene. *Journal of Chemical Education, (Special Issue)*, 5, pp. 28-31.

Günel, M., Hand, B. and Gündüz, S. (2006) Comparing Student Understanding of Quantum Physics when Embedding Multimodal Representations into Two Different Writing Formats: Presentation Format Versus Summary Report Format. *Science Education*. 90, 1092-1112.

Griffits, D. (1995). *Introduction to Quantum Mechanics*. New York: Prentice Hall.

Heisenberg, W. (1930). *The Physical Principles of the Quantum Theory*, Chicago: University of Chicago Pres.

Hooft, G. (1997). *In Search of the Ultimate Building Blocks*. Cambridge: Cambridge University press.

İnan, D. (1988). *Fizik I-Devinim*. (2. Basım). Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları-Öztek Matbaacılık.

Ireson, G. (1999a). A Multivariate Analysis of Undergraduate Physics Students' Conceptions of Quantum Phenomena. *European Journal of Physics*. 20, 193-199.

Ireson, G. (1999b). The Quantum Understanding of Pre-University Physics Students. *Physics Education*. 35 (1),15-21.

Johnson, I. D., Crawford, K. and Fletcher, P. R. (1998). Student Difficulties in Learning Quantum Mechanics. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 427-446.

Johanson, K.E. and Milstead, D. (2008). Uncertainty in The Classroom-Teaching Quantum Physics. *Physics Education*. 43, 173-179.

Kaptan, F., Aslan, F. ve Atmaca, S. (2002). **Problem Çözme Yönteminin Kalıcılığa ve Öğrencilerin Erişi Düzeyine Etkisine Yönelik Deneysel Bir Çalışma**. V. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi. (16-18 Eylül 2002). Ankara: ODTÜ.

Karamustafaoğlu, O. (2006). Fen ve Teknoloji Öğretmenlerinin Öğretim Materyallerini Kullanma Düzeyleri: Amasya İli Örneği. *AÜ. Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*. 1, 90-101.

Karasar, N. (2000). *Bilimsel Araştırma Yöntemi*. (10. Basım). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Karaoğlu, B. (2003). *Kuantum Mekaniğine Giriş (5. Baskı)* İstanbul: Seyir Yayıncılık.

Kopman, L., Kaper, W.H. and Ellermeijer, A.L. (2005). **Understanding Student Difficulties in First Year Quantum Mechanics Courses**. The First European Physics Education Conference EPEC-1 Bad Honnef, Germany (4-6 July 2005).

<http://www.physik.uni-mainz.de/lehramt/epec/koopman.pdf>

Lee, C. (2006). Uses of Quantum Measurements: Conceptual/ Theoretical Frameworks for Measurements and Collapse- Free Posterior Value Ascription. Unpublished Doctoral Dissertation. University of Minnesota. Faculty of Graduate School.

Liboff, R. L. (1980). *Introductory Quantum Mechanics*. USA: Addison-Wesley Publishing Company.

Masshadi, A. and Woolnough, B. (1999). Insights into Students' Understanding of Quantum Physics: Visualizing Quantum Entities. *European Journal of Physics*. 20, 511-516.

Marriam, S.B. (1988). *Case Study Research in Education: A Qualitative Approach*. San Francisco: Jossey-Bass.

Morrison, M. A. (1996). *Understanding Quantum Physics*. New Jersey: Prentice Hall, Englewood.

Mul, F. (2004). How to Encourage University Students to Solve Physics Problem Requiring Mathematical Skills: The Adventurous Problem Solving Approach. *European Journal of Physics*. 25, 51-61.

Müller, R. and Wiesner, H. (2002). Teaching Quantum Mechanics on An Introductory Level. *American Journal of Physics*. 70(3), 200-209.

Müller, R. and Wiesner, H (1999). **Students' Conceptions of Quantum Physics**. Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching.

<http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34> (12/05/08)

Niedderer, H., Deylitz, S. and Zollmann, D. (1999). **Evaluation of A New Approach in Quantum Atomic Physics in High School**. Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching.

http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM_papers.pdf. (12/05/08)

Olsen, R. V. (2001). A Study of Norwegian Upper Secondary Physics Specialist Conception of Atomic Models and Wave Particle Duality. http://folk.uio.no/rolfvo/Publications/Tessaloniki_paper.pdf (03/06/2007)

Olsen, R. V. (2002). Introducing Quantum Mechanics in The Upper Secondary School: A Study in Norway. *International Journal of Science Education*. 24 (6), 565-574.

Özdemir, E. ve Erol, M. (2008). Student Misconceptions Relating Wave Packet and Uncertainty Principle in Quantum Physics. *Balkan Physics Letter. Special Issue*. 641-635.

Penrose, R. (2001). *Fiziğin Gizemi: Kralın Yeni Usu*. (7. Basım). Ankara: Tübitak Popüler Bilim Kitapları.

Petri, P. and Niedderer, H. (1998). A Learning Pathway in High-School Level Quantum Atomic Physics. *International Journal of Science Education*. 20 (9), 329-347.

Pospiech, G. (2000). Uncertainty and Complementarity: The Heart of Quantum Physics. *Physics Education*. 35(6), 393-399.

Ramsier, R. D. (2001). A Hybrid Approach to Active Learning. *Physics Education*. 36, 124-128

Rebello, N.S. and Zollman, D. (1999). Conceptual Understanding of Quantum Mechanics After Using Hands-On and Visualization Instruction Materials. Papers presented at The Annual Meeting National Association for Research in Science Teaching.

http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM_papers.pdf (12/05/08).

Redish, E.F., Steinberg, R. N. and Wittmann, M.C. (2008). A New Model Course in Applied Quantum Physics.

<http://www.physics.umd.edu/perg/qm/qmcourse/NewModel/index.html> (12/05/08).

Rızaoğlu, E.M. (1982). *Kuantum Mekanikçi Çözümlü Problem Kitabı*. İstanbul: İstanbul: Üniversitesi Fen Fakültesi Matbaası.

Robblee, K. M., Garik, P., Abegg, G. and Zollman, D. (1999). **Using Computer Visualization Software to Teach Quantum Science: The Impact on Pedagogical Content Knowledge**. Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching.

<http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34> (12/05/08)

Roth, W. M. (1995). Affordances Of Computers In Teacher-Student Interactions: The Case Of Interactive Physics. *Journal of Research in Science Teaching*. 32, 329-347.

Sadaghiani H. R. (2005). Conceptual and Mathematical Barriers to Students Learning Quantum Mechanic. Unpublished Doctoral Dissertation. The Ohio State University.

Selçuk, S.G., Çalışkan, S. ve Erol, M. (2004). **Fizik Öğretmen Adaylarının Kullandıkları Problem Çözme Stratejileri: Cinsiyet ve Sınıf Düzeyi İle İlişkileri.** VI. Fen ve Matematik Eğitimi Kongresi. (9-11 Eylül). İstanbul: Marmara Üniversitesi.

Serway, R. A. ve Beichner, R. J. (2002). *Fen ve Mühendislik için Fizik 3.* (5. Basımdan Çeviri). Ankara: Palme Yayıncılık.

Singh, C. (2001). Student' Understanding of Quantum Mechanics. *American Journal of Physics.* 69, 885–895.

Sönmez, V. (2004). *Program Geliştirmede Öğretmen El Kitabı.* Ankara: Anı Yayıncılık.

Steinberg R, Wittman, M. C., Bao, L. and Redish, E. F. (1999). **The Influence of Student Understanding of Classical Physics When Learning Quantum Mechanics.** Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching.

http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM_papers.pdf (12/05/08).

Styler, F. D.(1996). Common Misconceptions Regarding Quantum Mechanics. *American Journal of Physics.* 64, 31-34.

Styler, D.(1997). **Teaching Time Development in Quantum Mechanics.** A paper contributed to the meeting of the Ohio Section of the American Physics Society at Miami University, Oxford, Ohio.

Taber, K. S. (2004). Learning Quanta: barriers to stimulating transitions 145 in student understanding of orbital ideas. *Science Education.* 89 (1), 94-116.

Tekindal, S. (1997). *Klasik Yazılı Sınavla ve Çok Sorulu Testle Elde Edilen Ölçümlerin Güvenirlik ve Geçerliği.* Samsun: Cem Ofset.

Ting, S.C.C. (1999). *The Bible According to Einstein: A Scientific Complement to The Holy Bible for The Third Millennium (1 st Ed.)* Jupiter Scientific Publishing Company.

Troncoso, C. E. and Chrobak, R. (2000). Modern Physics in Engineering Carrers.

<http://www.ineer.org/Events/ICEE2000/Proceedings/papers/WD1-3.pdf> (12/05/08).

Wittman, C. and Steinberg, R. N. and Redish, F. E. (2002). Investigation Student Understanding of Quantum Physics: Spontaneously Models of Conductivity. *American Journal of Physics*. 70, 218-226.

Yin, R. (1989). *Case Study Research Design and Methods*. Newbury Park, CA: Sage.

Zollman, D. (1999). **Conceptual Understanding of Quantum Mechanics After Using Hands-on and Visualization Instructional Materials**. Papers presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching.

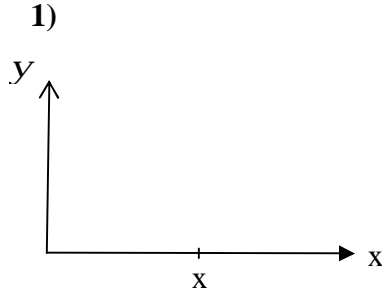
<http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1999-NARST-WKSQAP.pdf#page=34>. (12/05/08).

Zollman, D., Rebello, N.S. and Hogg, K. (2001). Quantum Mechanics For Everyone: Hands-On Activities Integrated With Technology. *American Journal of Physics*, 70(3)..252-260.

EKLER

EK-1

DALGA PAKETİ VE BELİRSİZLİK İLKESİ GÖRÜŞME FORMU



Yanda verilen şekil üzerinde, x çevresinde küçük bir bölgede içinde bir elektronun bulunduğunu kabul ederek elektronun tüm fiziksel özelliklerini belirleyen dalga fonksiyonunu çiziniz.

2) Mikroskobik ve hareketli bir parçacığın t anında x_0 konumunda bulunduğunu düşünelim. Bu parçacığa eşlik ettiğini düşündüğümüz dalga paketinin matematiksel ifadesini yazınız.

3) Kuantum fiziksel ölçme kavramı ile klasik ölçme kavramı arasında ne gibi farklılıklar vardır?

4) Bir hidrojen atomunun tek elektronunun konum ve momentumunu belirlemeniz istenirse nasıl bir yol izlersiniz?

5) Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin fiziksel anlamını ifade ediniz? Belirsizliğin sebebini açıklayınız.

6) Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi tek bir elektronun konum ve momentumunun ölçülmesindeki belirsizliği mi ifade eder? Açıklayınız

7) $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ eşitliğinin fiziksel anlamını ifade ediniz. Δx ve Δp_x 'sin fiziksel anlamı nedir. Açıklayınız.

8) Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi makroskobik evrene uygulanabilir mi? Açıklayınız.

EK-2
BELİRSİZLİK İLKESİ KLASİK SINAVI

Öğrencinin

Adı ve Soyadı:

Cinsiyeti:

Sınıfı:

Aşağıdaki sorular Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ile ilgili yasa, bağıntı ve kavramlarla ilgili bilgilerinizi ölçmeye yöneliktir. Soruyu okuduktan sonra yanıtlarınızı dikkatli ve anlaşılır bir şekilde yazmanız beklenmektedir.

SORU1. Kuantum fiziksel bir parçacık için y parçacığına eşlik eden dalğanın matematiksel ifadesini, $s_A \hat{A}$ gibi bir dinamik değişkenin ölçülmesindeki belirsizliği, $s_B \hat{B}$ gibi bir dinamik değişkenin ölçülmesindeki belirsizliği ve \hat{C} , \hat{A} ile \hat{B} operatörlerinin komütatörünü ifade etmek üzere Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ile ilgili olarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

a) Mikro evrende Belirsizlik İlkesinin varlığına esas olan düşünce nedir? Kısaca açıklayınız.

b) Mikro evrende iki fiziksel büyüklüğün eş zamanlı olarak istenilen duyarlılıkla ölçülebilir olup olmamasının komütasyon bağıntısıyla nasıl bir ilişkisi vardır. Komütatörün aldığı değere göre durumu irdeleyiniz.

c) Kuantum mekaniksel bir parçacık için \hat{A} ve \hat{B} operatörleri ile gösterilen iki dinamik değişken için Heisenberg'in Belirsizlik İlkesini türetiniz.

d) $s_A s_B \geq \left(y, \frac{\hat{C}}{2} y \right)$ ifadesindeki s_A ve s_B , kuantum fiziksel açıdan neyi

ifade etmektedir. s ifadesinin küçük olması veya büyük olması fiziksel açıdan neyi ifade eder. Açıklayınız.

e) $s_A s_B \geq \left(\left\langle \mathcal{Y}, \frac{\hat{C}}{2} \mathcal{Y} \right\rangle \right)$ Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin genel bir ifadesidir.

$\hat{C} = 0$ ve $\hat{C} \neq 0$ olduğu durumu göz önünde bulundurarak bu eşitsizliğin fiziksel anlamını ve s_A ifadesinin değeri arttıkça, s_B ifadesinin nasıl değişeceğini açıklayınız.

SORU 2. Klasik (Makroskobik) bir deneyde bir sistem için eylemsizlik momentini belirlemek amacıyla alınmış bir dizi ölçüm aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablodaki eylemsizlik momenti ölçüm değerlerinden yararlanarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

Ölçüm no	I(kgm ²)	Ölçüm no	I(kgm ²)
1	2	7	1
2	1	8	5
3	2	9	2
4	3	10	2
5	1	11	5
6	3	12	4

a) Deneydeki sistemin eylemsizlik momentinin ortalama değeri nedir?

b) Deneyde aynı sistem üzerine eylemsizlik momenti için 12 ölçüm değeri alınmıştır. Neden eylemsizlik momenti için tek bir ölçüm almak yerine deney 12 kez tekrarlanmış olabilir? Bu durumu göz önünde bulundurarak eylemsizlik momentinin ortalama değeri neyi ifade eder açıklayınız.

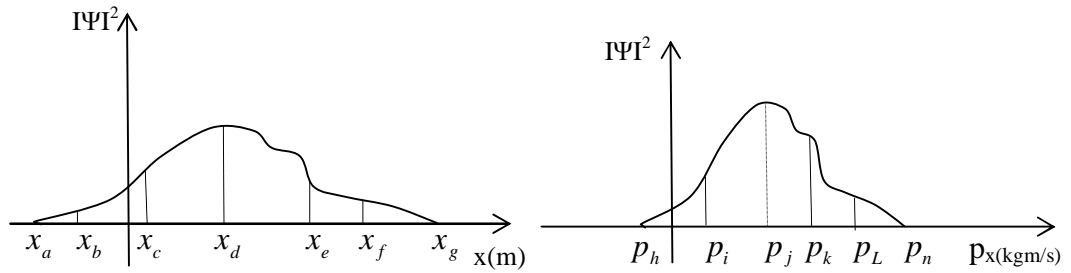
c) Deneydeki sistem için standart sapmayı bulunuz?

d) Deneydeki sistem için standart sapma neyi ifade eder? Standart sapmanın küçük veya büyük olmasının ne gibi bir fiziksel anlamı vardır. Açıklayınız.

e) Kuantum fiziksel bir parçacığın bir niceliğini belirleme işlemi nasıl gerçekleştirilebilir. Neden? Kuantum fiziksel sistemler için beklenen değer neyi ifade eder? Bu deney için elde edilen ortalama değer ile arasındaki farkı ifade ediniz.

f) Kuantum fiziksel bir parçacık için ölçümlerdeki belirsizlik neyi ifade eder. Bu deney için elde edilen standart sapma ile arasında ne gibi farklılıklar vardır? Açıklayınız.

SORU 3. Özdeş 1000 adet kuantum fiziksel parçacıktan oluşan bir sistemin x doğrultusundaki hareketi için konum ve momentumun eş zamanlı ölçümleri için olasılık yoğunluğu grafikleri aşağıdaki gibidir. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.



a) Parçacıkların hangi konum ve momentum değerlerinde asla bulunamayacağını ve parçacığın yapılan birçok ölçümde hangi konum ve momentum değerlerinde en fazla bulunabileceğini kuantum mekaniksel parçacıklar için tanımlı olan olasılık yoğunluğu kavramından yararlanarak açıklayınız.

b)Yapılacak herhangi bir ölçüm sonucunda bulunacak değer in ölçülmesindeki belirsizlik yani Δx ve Δp_x burada nasıl belirlenebilir? Gerekli bağıntıları kullanarak açıklayınız. (Bu parçacık için dalga fonksiyonunu $\psi(x,t)$ ile ifade ediniz.)

c) Δx ve Δp_x nasıl belirlenir ve fiziksel anlamları nedir? Δx belirsizliğini azaltırsak Δp_x nasıl değişir?

SORU 4. Aşağıda kütlesi m olan bir mikroskobik parçacık için, a sabit olmak üzere, normalize edilmiş dalga fonksiyonu verilmiştir. Parçacık için tanımlanan $\psi(x,t)$ dalga fonksiyonundan yararlanarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız. (Gerekli integraller aşağıda verilmiştir.)

$$\psi(x,t) = \left(\frac{2am}{\hbar} \right)^{\frac{1}{4}} e^{-a \left[\left(\frac{mx^2}{\hbar} \right) + it \right]}$$

a) $\langle x \rangle, \langle x^2 \rangle$, beklenen değerlerini hesaplayınız.

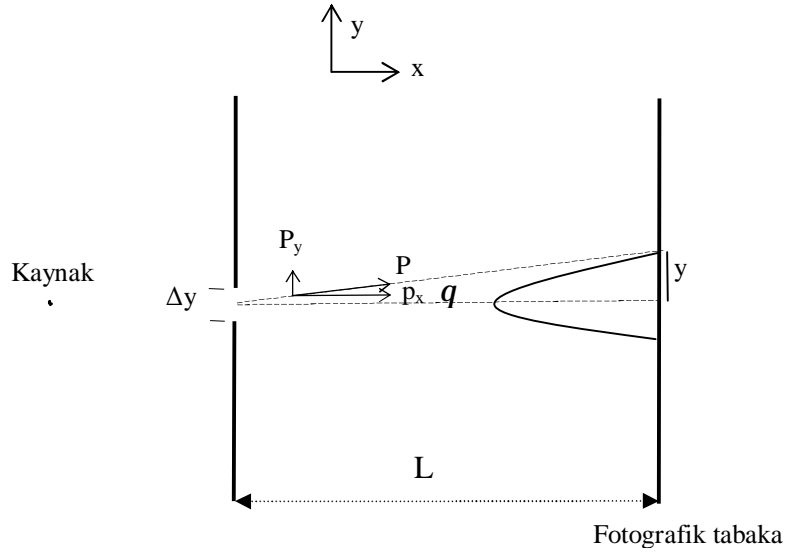
b) $\langle p_x \rangle, \langle p_x^2 \rangle$ beklenen değerlerini hesaplayınız

c) x ve p_x için belirsizlik miktarlarını yani S_x ve S_{p_x} değerlerini hesaplayınız.

d) Bu parçacık için belirsizlik ilkesinin geçerli olduğunu gösteriniz.

$$\left[\int_{-\infty}^{\infty} x |\psi(x,t)|^2 dx = 0, \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\frac{2amx^2}{\hbar}} dx = \frac{1}{4(2am/\hbar)} \sqrt{\frac{\hbar}{2am}} \right]$$

SORU 5. Aşağıdaki şekil tek yarıktaki kırınım deney düzeni gibidir. Yarık genişliği (Δy), yarıktan geçen parçacıkların çarparak üzerinde iz bıraktığı fotografik plaka ve fotografik plaka ile yarık arası uzaklık (L) şeklindeki gibidir. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.



İstenilen zamanda bir top (klasik bir parçacık) fırlatabilen bir kaynak, yarıktan belirli bir uzaklığa konuluyor. x doğrultusunda hareket eden toplar yarık aralığından geçtikten sonra nereye çarptığı bir detektör yardımıyla kaydediliyor. Yarıktan ekrana topun ulaşma süresi hesaplanabiliyor. (Yarıkla ekran arasında parçacıklara hiçbir kuvvet etki etmiyor ve topun çapı yarık genişliğinden oldukça küçüktür.)

a) Özdeş topları aynı koşullarda fırlatıp ekrana çarpmalarını sağlarsak, ekranda nasıl bir desen oluşur? Şeklini çiziniz.

b) Özdeş topların konumundaki Δy ve momentumundaki Δp_y belirsizliği nasıl bulunur? Δp_y belirsizliği nasıl azaltılabilir?

c) Δy 'yi (yarık genişliğini) küçültüp aynı deneyi tekrarlırsak Δp_y deki değişim nasıl olur? Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin bu durum için, geçerli olup olmadığını açıklayınız.

d) Özdeş topların Δy konum ve Δp_y momentum belirsizliklerinin kaynağı nedir? Ekranda topun nereye çarptığını daha duyarlıklı bir detektörle belirlersek Δp_y nasıl değişir?

e) Aynı deney yarık genişliği elektronların de Broglie dalga boyuna göre çok büyük olduğu durum için gerçekleştirilirse; ekranda nasıl bir desen oluşur? Şeklini çiziniz.

Yarık genişliği daraltılarak elektronların de Broglie dalga boyuna kıyaslanabilecek boyuta getirildikten sonra;

f) Ekranda oluşan desen, yarık genişliğinin elektronların de Broglie dalga boyuna kıyasla çok büyük olduğu durumdaki desene göre nasıl değişir?

g) (Δy) Yarık genişliği daraltıldıkça, ekrandaki desen ve elektronların momentumundaki belirsizlik nasıl değişir? Heisenberg Belirsizlik İlkesini göz önünde bulundurarak açıklayınız.

h) Ayırma gücü $\sin q = \frac{l}{\Delta y}$, q girişim deseninde ilk minimumun meydana geldiği açı, $P = \frac{h}{l}$ kuantum fiziksel parçacıklar için momentum değeri olmak üzere Belirsizlik İlkesinin geçerli olduğunu gösteriniz.

EK-3
İŞLEM ZAMAN ÇİZELGESİ

Yıl	2007 (Aylar)												2008 (Aylar)				
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		
Yapılan İşler																	
1- Alanyazın Taraması																	
2- Hedef ve Hedef Davranışların Yazılması																	
3- Materyallerin ve Ölçme Araçlarının Hazırlanması																	
4- Materyallerin Uygulanması																	
5- Sonuçların Değerlendirilmesi																	
6- Sonuçların Yazımı ve Basımı																	

EK-4
ÜNİTELERE AİT HEDEF - HEDEF DAVRANIŞLAR
VE BELİRTKE TABLOLARI

1) DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI ÜNİTESİ HEDEF VE
HEDEF-DAVRANIŞLARI

A) BİLİŞSEL ALAN

HEDEF 1: Dalga fonksiyonu ve olasılık kavramı ünitesinde geçen kavramlar bilgisi.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziği olasılık dalgalarının tanımını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
2. Kuantum fiziği olasılık dalgalarının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
3. Kuantum fiziği olasılık yoğunluğunun fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
4. Kuantum fiziği dalga paketi kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
5. Kuantum fiziği dalga paketi kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
6. Dalga fonksiyonunun çöküşü kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
7. Klasik ortalama değer kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
8. Klasik standart sapma kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
9. Kuantum fiziği beklenen değer kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.

10. Kuantum fiziği belirsizlik kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
11. Kuantum fiziği normalizasyon kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.

HEDEF 2: Dalga fonksiyonu ve olasılık kavramı ünitesi ile ilgili alışılar bilgisi.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Schrödinger Dalga Denklemini yazma.
2. Kuantum fiziği toplam enerji operatörünü yazma.
3. Kuantum fiziği kinetik enerji operatörünü yazma.
4. Kuantum fiziği dalga fonksiyonunun sembolünü yazma.
5. Kuantum fiziği beklenen değer ifadesinin denklemini yazma.
6. Olasılık yoğunluğu kavramının denklemini yazma.
7. Standart sapma kavramının denklemini yazma.
8. Kuantum fiziksel bir parçacığın toplam bulunma olasılığının denklemini yazma.
9. Klasik standart sapma kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.
10. Klasik ortalama değer kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.
11. Kuantum fiziği beklenen değer kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.
12. Kuantum fiziği belirsizlik kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.

HEDEF 3: Kuantum fiziği olasılık dalgalarını kavrayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde dalga fonksiyonu kullanılmasının gerekliliğini açıklama.

HEDEF 4: Kuantum fiziği olasılık yorumunu kavrayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde istatistiksel yorumu kullanma.

HEDEF 5: Kuantum fiziksel parçacıklarla klasik parçacıkların fiziksel özellikleri arasındaki farklılıkları ifade edebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziği beklenen değer kavramıyla, klasik fizik ortalama değer kavramları arasındaki farklılıkları ifade etme.
2. Klasik fizik standart sapma kavramıyla kuantum fiziği belirsizlik kavramları arasındaki farklılıkları ifade etme.
3. Klasik parçacıkların belirlenebilirlik ve kesinlik içeren yapısı ile kuantum fiziksel parçacıkların belirsizlik ve olasılık içeren yapısını açıklama.

HEDEF 6: Dalga fonksiyonu ve olasılık kavramı ünitesine ilişkin problemleri çözebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Verilen bir fonksiyonun kuantum fiziksel bir parçacığı temsil edip edemeyeceğini belirleme.

2. Verilen bir $y(x,t)$ dalga fonksiyonundan yararlanarak kuantum fiziksel bir parçacığın en büyük olasılıkla nerede olduğunu belirleme.
3. Verilen bir $y(x,t)$ dalga fonksiyonundan yararlanarak kuantum fiziksel bir parçacığın en küçük olasılıkla nerede olduğunu belirleme.
4. Verilen bir $y(x,t)$ dalga fonksiyonundan yararlanarak kuantum fiziksel bir parçacığın herhangi bir aralıkta bulunma olasılığını hesaplama.
5. Verilen bir $y(x,t)$ dalga fonksiyonundan yararlanarak kuantum fiziksel parçacığın konumunun, momentumunun beklenen değerini hesaplama.

HEDEF 7: Kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel özellikleri ile klasik parçacıkların fiziksel özellikleri arasında farklılıkları belirleyebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziksel parçacıkların ölçüm yapmadan önce kesin bir değere sahip olmadığını fakat klasik parçacıkların ölçüm yapmadan önce de kesin bir konum değeri olduğunu ifade etme.

HEDEF 8: Dalga fonksiyonu ve olasılık ünitesine ilişkin özgün bir iletişim muhtevası oluşturabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Dalga fonksiyonu ve olasılık ünitesine ilişkin özgün bir problem üretme.
2. Tartışma sorularının çözümüne ilişkin problem üretme.

HEDEF 9: Kuantum fiziği dalga fonksiyonun fiziksel özelliklerini değişik boyutlarda irdeleyebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziği dalga fonksiyonu ile ilgili olarak verilen yargıların doğru olup olmadığını gerekçe göstererek yazma/söyleme.

B) DUYUŞSAL ALAN

HEDEF 1: Kuantum fiziğinin kendine has farklı yapısının farkında olabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziksel parçacıkların olasılık ve belirsizlik içeren bir yapıya sahip olduğunu söyleme/yazma.
2. Kuantum fiziğinde parçacıkların kesin ve belirli bir konuma sahip olamayacaklarını söyleme/yazma.
3. Kuantum fiziksel büyüklüklerin operatörlerle ifade edildiğini yazma/söyleme.

HEDEF 2: Kuantum fiziği ile ilgili teknolojik gelişmeleri ve yayınları seçmede dikkatli oluş.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziğinin teknolojideki uygulamalarını bilme.
2. Kuantum fiziği ile ilgili popüler bilim kitaplarını takip etme.
3. Kuantum fiziği ile ilgili yayınlar arasından nitelikleri yayınları seçme.

HEDEF 3: Grup çalışmalarının önemini anlayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Grup çalışmalarına istekli olma.
2. Fikirlerini çekinmeden paylaşma.

3. Fikirlerini savunma.
4. Arkadaşlarından yardım alma ve onlara yardım etmeye açık olma.
5. Yapılan grup tartışmaları ve çalışmalarında diğer arkadaşlarını dinleme alışkanlığı kazanma.
6. Diğer arkadaşlarının düşüncelerine saygı gösterme.

HEDEF 4: Fizik dersinin önemini anlayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Fiziğin görebildiğimiz evrenin dışındaki dünyayı da açıklayabildiğini anlama.
2. Evrenin olasılık ve belirsizlik içeren yapısını anlama.
3. Fizik dersini sevmeye.
4. Yeni bilgileri öğrenmede istekli olma.

2) MOMENTUM KAVRAMI VE HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ ÜNİTESİNİN HEDEF VE HEDEF DAVRANIŞLARI

A) BİLİŞSEL ALAN

HEDEF 1: Momentum kavramı ve Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ünitesinde geçen kavramlar bilgisi.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin en genel tanımını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.
2. Kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentumundaki belirsizliğin tanımını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.

HEDEF 2: Momentum kavramı ve belirsizlik ilkesi dersi alışlar bilgisi.

HEDEF DAVRANIŞLAR

- 1) Kuantum fiziği momentum kavramının operatör karşılığını yazma.
- 2) Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın konumunun beklenen değerini ifade eden bağıntıyı yazma.
- 3) Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın hızının beklenen değerini ifade eden bağıntıyı yazma.
- 4) Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın momentumunun beklenen değerini ifade eden bağıntıyı yazma.
- 5) Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin en genel ifadesini yazma.

HEDEF 3: Heisenberg'in Belirsizlik İlkesini kavrayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin en genel ifadesini basamak atlamadan çıkarma.
2. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin en genel ifadesini komütasyon ilişkisine göre yorumlama.
3. Kuantum fiziksel bir parçacığın konumundaki belirsizliğin ne anlama geldiğini ifade etme.
4. Kuantum fiziksel bir parçacığın momentumundaki belirsizliğin ne anlama geldiğini ifade etme.

HEDEF 4: Momentum Kavramı ve Belirsizlik İlkesi ünitesi ile ilgileri problemleri çözebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın dalga fonksiyonunu normalize etme.

2. Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın konumunun beklenen değerini hesaplama.
3. Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın momentumundaki belirsizliği hesaplama.
4. Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacık için belirsizlik ilkesinin geçerli olduğunu ispatlama.
5. Kuantum fiziğinde konumundaki belirsizliği verilen bir cismin momentumundaki belirsizliği bulma.
6. Kuantum fiziğinde enerjisindeki belirsizliği verilen bir cismin zamanındaki belirsizliği bulma.

HEDEF 5: Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin ilişkilere dönük analizini yapabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesini komüt operetörün sıfıra eşit olduğu durum için irdeleme.
2. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesini komüt operetörün sıfırdan farklı bir değere eşit olduğu durum için irdeleme.

HEDEF 6: Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ünitesi ile ilişkin özgün bir iletişim muhtevası oluşturabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ile ilişkin bir problem üretme.
2. Tartışma sorularının çözümüne yönelik hipotez kurma.

HEDEF 7: Heisenberg'in Belirsizlik ilkesin fiziksel özelliklerini değişik boyutlarda irdeleyebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ile ilgili olarak verilen yargıların doğru olup olmadığını gerekçe göstererek yazma/söyleme.

B) DUYUŞSAL ALAN

HEDEF 1: Kuantum fiziğinin kendine has farklı yapısının farkında olma.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziksel parçacıkların olasılık ve belirsizlik içeren bir yapıya sahip olduğunu söyleme/yazma.
2. Kuantum fiziğinde parçacıkların kesin ve belirli bir konuma sahip olamayacaklarını söyleme/yazma.
3. Kuantum fiziksel büyüklüklerin operatörlerle ifade edildiğini yazma/söyleme.

HEDEF 2: Kuantum fiziği ile ilgili teknolojik gelişmeleri ve yayınları seçmede dikkatli oluş.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziğinin teknolojideki uygulamalarını bilme.
2. Kuantum fiziği ile ilgili popüler bilim kitaplarını takip etme.
3. Kuantum fiziği ile ilgili yayınlar arasından nitelikleri yayınları seçme.

HEDEF 3: Grup çalışmalarının önemini anlayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Grup çalışmalarına istekli olma.
2. Fikirlerini çekinmeden paylaşma.
3. Fikirlerini savunma.
4. Arkadaşlarından yardım alma ve onlara yardım etmeye açık olma.
5. Yapılan grup tartışmaları ve çalışmalarında diğer arkadaşlarını dinleme alışkanlığı kazanma.
6. Diğer arkadaşlarının düşüncelerine saygı gösterme.

HEDEF 4: Fizik dersinin önemini anlayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Fiziğin görebildiğimiz evrenin ötesindeki yapıların davranışlarını yorumlayabilmesine yardımcı olduğunu anlama.
2. Evrenin olasılık ve belirsizlik içeren yapısını anlama.
3. Fizik dersini sevmek.
4. Yeni bilgileri öğrenmede istekli olma.

3) HEİSENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ UYGULAMALARI ÜNİTESİNİN HEDEF VE HEDEF DAVRANIŞLARI

A) BİLİŞSEL ALAN

HEDEF 1: Heisenberg'in Belirsizlik ilkesini klasik ve kuantum fiziksel parçacıklar için yorumlayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin klasik parçacıklar için geçerli olmadığını tek yarıktaki kırınım olayından yararlanarak açıklama.

2. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıklar için geçerli olduğunu tek yarıқта kırınım olayından yararlanarak açıklama.
3. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi düşünce deneyinden yararlanarak belirsizlik ilkesini açıklama.

HEDEF 2: Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi Uygulamaları ile ilgili problemleri çözebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Tek yarıқта kırınım deneyinin klasik parçacıkları için geçerli olmadığını uygun matematiksel denklemleri kullanarak gösterme.
2. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıklar için geçerli olduğunu tek yarıқта kırınım deneyinden yararlanarak uygun matematiksel denklemleri kullanarak gösterme.

HEDEF 3: Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi Uygulamaları ünitesi ile ilişkin özgün bir iletişim muhtevası oluşturabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıklar için geçerli olup, klasik parçacıklar için geçerli olmadığını ortaya koyabilecek bir problem üretme.

HEDEF 4: Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin fiziksel özelliklerini değişik boyutlarda irdeleyebilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ile ilgili olarak verilen yargıların doğru olup olmadığını gerekçe göstererek yazma/söyleme.

B) DUYUŞSAL ALAN

HEDEF 1: Kuantum fiziğinin kendine has farklı yapısının farkında olma.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziksel parçacıkların olasılık ve belirsizlik içeren bir yapıya sahip olduğunu söyleme/yazma.
2. Kuantum fiziğinde parçacıkların kesin ve belirli bir konuma sahip olamayacaklarını söyleme/yazma.
3. Kuantum fiziksel büyüklüklerin operatörlerle ifade edildiğini yazma/söyleme.

HEDEF 2: Kuantum fiziği ile ilgili teknolojik gelişmeleri ve yayınları seçmede dikkatli oluş.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Kuantum fiziğinin teknolojiye uygulamalarını bilme.
2. Kuantum fiziği ile ilgili popüler bilim kitaplarını takip etme.
3. Kuantum fiziği ile ilgili yayınlar arasından nitelikleri yayınları seçme.

HEDEF 3: Grup çalışmalarının önemini anlayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Grup çalışmalarına istekli olma.
2. Fikirlerini çekinmeden paylaşma.
3. Arkadaşlarından yardım alma ve onlara yardım etmeye açık olma.
4. Yapılan grup tartışmaları ve çalışmalarında diğer arkadaşlarını dinleme alışkanlığı kazanma.

5. Diğer arkadaşlarının düşüncelerine saygı gösterme.

HEDEF 4: Fizik dersinin önemini anlayabilme.

HEDEF DAVRANIŞLAR

1. Fiziğin görebildiğimiz evrenin ötesindeki yapıların davranışlarını yorumlayabilmesine yardımcı olduğunu anlama.
2. Evrenin olasılık ve belirsizlik içeren yapısını anlama.
3. Fizik dersini sevmek.
4. Yeni bilgileri öğrenmede istekli olmak.

DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI ÜNİTESİ BELİRTKE TABLOSU							
	KONULAR	Klasik Fizik ile Kuantum Fizikinin Karşılaştırılması ve Dalga fonksiyonu kavramı	Dalga Paketi Kavramı	Dalga Fonksiyonunun İstatistiksel Yorumu	Olasılık Kavramı	Ortalama Değer ve Standart Sapmanın Klasik Fizikteki Anlamı	Normalizasyon
HEDEF VE HEDEF DAVRANIŞLAR							
BİLGİ BASAMAĞI							
Dalga fonksiyonu ve olasılık kavramı ünitesinde geçen kavramlar bilgisi.							
Kuantum fiziği olasılık yoğunluğu kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.				X			
Kuantum fiziği dalga paketi kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.			X				
Kuantum fiziği dalga paketi kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma/söyleme.			X				
Dalga fonksiyonunun çöküşü kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.				X			
Klasik ortalama değer kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.						X	
Klasik standart sapma kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.						X	
Kuantum fiziği beklenen değer kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.					X		
Kuantum fiziği belirsizlik kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.						X	
Kuantum fiziği normalizasyon kavramının fiziksel anlamını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.							X
Dalga fonksiyonu ve olasılık kavramı ünitesi ile ilgili alışlar bilgisi.							
Schrödinger Dalga Denklemini yazma.		X					
Kuantum fiziği toplam enerji operatörünü yazma.		X					
Kuantum fiziği kinetik enerji operatörünün bağıntısını yazma.		X					

DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI ÜNİTESİ BELİRTKE TABLOSU							
	KONULAR	Klasik Fizik ile Kuantum Fizikinin Karşılaştırılması ve Dalga fonksiyonu kavramı	Dalga Paketi Kavramı	Dalga Fonksiyonunun İstatistiksel Yorumu	Olasılık Kavramı	Ortalama Değer ve Standart Sapmanın Klasik Fizikteki Anlamı	Normalizasyon
Kuantum fiziği dalga fonksiyonunun sembolünü yazma.		X					
Kuantum fiziği beklenen değer ifadesinin denklemini yazma.					X		
Olasılık yoğunluğu kavramının denklemini yazma.				X			
Standart sapma kavramının denklemini yazma.					X		
Kuantum fiziksel bir parçacığın toplam bulunma olasılığının denklemini yazma.							X
Klasik standart sapma kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.					X		
Klasik ortalama değer kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.						X	
Kuantum fiziği beklenen değer kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.					X		
Kuantum fiziği belirsizlik kavramının matematiksel ifadesini derste geçen şekliyle yazma.					X		
KAVRAMA BASAMAĞI							
Kuantum fiziği olasılık dalgalarını kavrayabilme.							
Kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde dalga fonksiyonu kullanılmasının gerekliliğini açıklama.		X					
Kuantum fiziği olasılık yorumunu kavrayabilme.							
Kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde istatistiksel yorumu kullanma.				X			
Kuantum fiziksel parçacıklarla klasik parçacıkların fiziksel özellikleri arasındaki farklılıkları ifade edebilme.							

DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI ÜNİTESİ BELİRTKE TABLOSU							
	KONULAR	Klasik Mekaniğin ile Kuantum Fizikinin Karşılaştırılması ve Dalga fonksiyonu kavramı	Dalga Paketi Kavramı	Dalga Fonksiyonunun İstatistiksel Yorumu	Olasılık Kavramı	Ortalama Değer ve Standart Sapmanın Klasik Fizikteki Anlamı	Normalizasyon
ANALİZ BASAMAĞI							
Kuantum fiziksel parçacıkların fiziksel özellikleri ile klasik parçacıkların fiziksel özellikleri arasında farklılıkları belirleyebilme.							
Kuantum fiziksel parçacıkların ölçüm yapmadan önce kesin bir değere sahip olmadığını fakat klasik parçacıkların ölçüm yapmadan önce de kesin bir konum değeri olduğunu ifade etme.						X	
SENTEZ BASAMAĞI							
Dalga fonksiyonu ve olasılık ünitesine ilişkin özgün bir iletişim muhtevası oluşturabilme.							
Dalga fonksiyonu ve olasılık ünitesine ilişkin özgün bir problem üretme.		X	X	X	X	X	X
Tartışma sorularının çözümüne ilişkin problem üretme.		X	X	X	X	X	X
DEĞERLENDİRME BASAMAĞI							
Kuantum fiziği dalga fonksiyonunun fiziksel özelliklerini değişik boyutlarda irdeleyebilme.							
Kuantum fiziği dalga fonksiyonu ile ilgili olarak verilen yargıların doğru olup olmadığını gerekçe göstererek yazma/söyleme.		X	X	X	X		

MOMENTUM KAVRAMI VE HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ ÜNİTESİ BELİRTKE TABLOSU				
	KONULAR	Kuantum fiziğinde momentum kavramı	Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi	Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin fiziksel anlamı
HEDEF VE DAVRANIŞLAR				
BİLGİ BASAMAĞI				
Momentum kavramı ve Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ünitesinde geçen kavramlar bilgisi.				
Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin en genel tanımını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.			X	
Kuantum fiziksel parçacıkların konum ve momentumundaki belirsizliğin tanımını derste geçen şekliyle yazma/söyleme.				X
Momentum kavramı ve belirsizlik ilkesi dersi alışlar bilgisi.				
Kuantum fiziği momentum kavramının operatör karşılığını yazma.		X		
Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın konumunun beklenen değerini ifade eden bağıntıyı yazma.			X	X
Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın hızının beklenen değerini ifade eden bağıntıyı yazma.			X	X
Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın momentumunun beklenen değerini ifade eden bağıntıyı yazma.			X	X
Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin en genel ifadesini yazma.			X	X
KAVRAMA BASAMAĞI				
Heisenberg'in Belirsizlik İlkesini kavrayabilme.				
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin en genel ifadesini basamak atlamadan çıkarma.			X	
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin en genel ifadesini komütasyon ilişkisine göre yorumlama.			X	
Kuantum fiziksel bir parçacığın konumundaki belirsizliğin ne anlama geldiğini ifade etme.				X

BELİRSİZLİK İLKESİ VE HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ ÜNİTESİ BELİRTKE TABLOSU

	KONULAR	Kuantum fiziğinde momentum kavramı	Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi	Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin fiziksel anlamı
UYGULAMA BASAMAĞI				
Momentum Kavramı ve Belirsizlik İlkesi ünitesi ile ilgili problemleri çözebilme.				
Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın dalga fonksiyonunu normalize etme.			X	X
Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın konumunun beklenen değerini hesaplama.			X	X
Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacığın momentumunun beklenen değerini hesaplama.			X	X
Dalga fonksiyonu verilen bir kuantum fiziksel parçacık için belirsizlik ilkesinin geçerli olduğunu ispatlama.			X	X
Kuantum fiziğinde konumdaki belirsizliği verilen bir cismin momentumundaki belirsizliği bulma.			X	X
Kuantum fiziğinde enerjisindeki belirsizliği verilen bir cismin zamanındaki belirsizliği bulma.			X	X
ANALİZ BASAMAĞI				
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin ilişkilere dönük analizini yapma.				
Heisenberg'in Belirsizlik İlkesini komüt operatörün sıfıra eşit olduğu durum için irdeleme.				
Heisenberg'in Belirsizlik İlkesini komüt operatörün sıfırdan farklı bir değere eşit olduğu durum için irdeleme.				
SENTEZ BASAMAĞI				
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ünitesi ile ilişkin özgün bir iletişim muhtevası oluşturabilme.				
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ile ilişkin bir problem üretme.			X	X

BELİRSİZLİK İLKESİ VE HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ ÜNİTESİ BELİRTKE TABLOSU					
		KONULAR	Kuantum fiziğinde momentum kavramı	Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi	Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin fiziksel anlamı
Tartışma sorularının çözümüne yönelik hipotez kurma.				X	X
DEĞERLENDİRME BASAMAĞI					
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesin fiziksel özelliklerini değişik boyutlarda irdeleyebilme.					
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ile ilgili olarak verilen yarguların doğru olup olmadığını gerekçe göstererek yazma/söyleme.				X	X

HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ UYGULAMALARI BELİRTKE TABLOSU			
	KONULAR		
		Tek Yarıktaki Kırınım Deneyinde Belirsizlik	Klasik Parçacıklar İçin Tek Yarıktaki Kırınım Deneyi
			Kuantum Fiziksel Parçacıklar İçin Tek Yarıktaki Kırınım Deneyi
KAVRAMA BASAMAĞI			X
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesini klasik ve kuantum fiziksel parçacıklar için yorumlayabilme.			
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin klasik parçacıklar için geçerli olmadığını tek yarıktaki kırınım olayından yararlanarak açıklama.			X
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıklar için geçerli olduğunu tek yarıktaki kırınım olayından yararlanarak açıklama.			X
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi Uygulamaları ile ilgili problemleri çözme.			X
UYGULAMA BASAMAĞI			
Tek yarıktaki kırınım deneyinin klasik parçacıklar için geçerli olmadığını uygun matematiksel denklemleri kullanarak gösterme.			
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıklar için geçerli olduğunu tek yarıktaki kırınım deneyinden yararlanarak uygun matematiksel denklemleri kullanarak gösterme.			X

HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ UYGULAMALARI BELİRTKE TABLOSU				
	KONULAR			
		Tek Yarıklı Kırınım deneyinde belirsizlik	Klasik parçacıklar için tek yarıklı kırınım deneyi	Kuantum fiziksel parçacıklar için tek yarıklı kırınım deneyi
SENTEZ BASAMAĞI			X	X
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi Uygulamaları ünitesi ile ilişkin özgün bir iletişim muhtevası oluşturabilme.				
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin kuantum fiziksel parçacıklar için geçerli olup, klasik fiziksel parçacıklar için geçerli olmadığını ortaya koyabilecek bir problem üretme.			X	X
DEĞERLENDİRME BASAMAĞI				
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin fiziksel özelliklerini değişik boyutlarda irdeleyebilme.				
Heisenberg'in Belirsizlik ilkesi ile ilgili olarak verilen yargıların doğru olup olmadığını gerekçe göstererek yazma/söyleme.		X	X	X

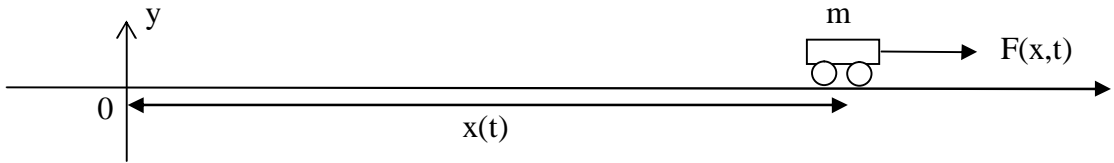
EK-5

ÜNİTELERE AİT DERS İÇERİĞİ METİNLERİ

1) DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI DERS İÇERİĞİ METNİ

1) Klasik Mekanik ve Kuantum Fizikinin Karşılaştırılması ve Dalga Fonksiyonu Kavramı

Şekildeki gibi konum ve zamana bağlı $F(x,t)$ kuvvetinin etkisinde hareket eden m kütleli bir arabanın hareketini inceleyelim.



Şekil1. Bir kuvvetin etkisi ile bir boyutta harekete zorlanan bir araba.

Şekildeki arabanın herhangi bir t anındaki konumu $x(t)$, anlık hızı $v = \frac{dx}{dt}$, momentumu $p = mv$ ve kinetik enerjisi $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ bağıntıları ile ifade edilir.

Şekildeki arabanın herhangi bir t anındaki konumunu biliyorsak $v = \frac{dx}{dt}$ bağıntısı ile

hızını, $p = mv$ bağıntısından momentumunu ve $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ bağıntısından da kinetik

enerjisini hesaplayabiliriz. Arabanın tüm bu dinamik değişkenlerini (hızını, momentumunu, kinetik enerjisini) bulabilmek için $x(t)$ 'yi belirlememiz yeterlidir.

$x(t)$ 'yi belirleyebilmek için Newton'un ikinci yasasını kullanabiliriz ($\vec{F} = m\vec{a}$).

Şekildeki m kütleli araba \vec{F} bileşke kuvvetinin etkisiyle ivmeli hareket yapacaktır.

Arabanın hızı $v = \frac{dx}{dt}$ olduğuna göre ivmesi $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$ olacaktır. Bu durumda da

arabaya etki eden kuvvet $F = m \frac{d^2x}{dt^2}$ ye eşit olacaktır. Korunumlu bir kuvvetin yaptığı işin, potansiyel enerjideki değişimin negatifine eşit olduğunu göz önünde bulundurursak ($F \cdot dx = -dV$) arabayı harekete zorlayan kuvveti aşağıdaki eşitlikle ifade edebiliriz.

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{dV}{dx} \dots\dots(1)$$

(1) denklemini bir hareket denklemidir; bu ifadede arabanın potansiyel enerjisinin konuma bağlı ifadesi biliniyorsa, parçacığın konumu, böylece arabanın hız, momentum ve kinetik enerji gibi fiziksel özellikleri de belirlenebilir.

Kuantum mekaniksel parçacıkların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, klasik parçacıkların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinden farklıdır. Kuantum mekaniksel parçacıkların fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için Schrödinger Dalga Denkleminin çözülmesi gerekir. Kuantum mekaniksel bağlı bir parçacık için Schrödinger Dalga Denklemi aşağıdaki gibidir.

$$i\hbar \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} + V(x)y(x,t) \dots\dots(2)$$

Eşitlikte yer alan $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054573 \cdot 10^{-34}$ J.s dir ve h Planck sabitidir. Bu

eşitlikte yer alan $i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$ parçacığın toplam enerjisini, $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2}$ kinetik enerjisini ve $V(x)$ ise parçacığın potansiyel enerjisini ifade eder. Kuantum mekaniksel bir parçacığın fiziksel özelliklerini belirlemek istersek, kuantum mekaniksel parçacığın, klasik parçacıklarda olduğu gibi potansiyel enerjisinin konuma bağlı ifadesini bilmemiz gerekir. Potansiyel enerjinin konuma bağlı ifadesi bilindiğinde Schrödinger Dalga Denkleminin çözülmesi ile $y(x,t)$ dalga fonksiyonu belirlenebilir. Sonuç olarak kuantum mekaniksel bir parçacığın fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için kuantum mekaniksel parçacık için tanımlı $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun bilinmesine ihtiyaç vardır.

Kuantum mekaniksel parçacıkları tanımlayan dalga fonksiyonunun taşıması gereken bazı özellikler vardır. Bunlar özetle şöyledir:

1) $\psi(x,t)$ fonksiyonu $+\infty$ ve $-\infty$ sonsuz değerlerinde sonlu bir değere gitmelidir. $\lim_{x \rightarrow \infty} \psi(x,t) \rightarrow$ sonlu değer.

2) $\psi(x,t)$ fonksiyonunun sürekli ve tek değerli olması gerekir.

3) $\psi(x,t)$ fonksiyonunun türevinin sürekli olması gerekir; $\frac{d\psi(x,t)}{dx} \rightarrow$ sürekli olmalıdır.

4) $\psi(x,t)$ dalga fonksiyonu lineer ve homojen olmalıdır. Dolayısıyla dalga fonksiyonu için lineerlik özelliği sağlanmalıdır. Başka bir deyişle ψ_1 ve ψ_2 lineer ve homojen bir denklemin çözümleri ise c_1 ve c_2 iki sabit olmak üzere $c_1\psi_1 + c_2\psi_2$ lineer kombinasyonu da aynı denklemin çözümü olma özelliğine sahiptir.

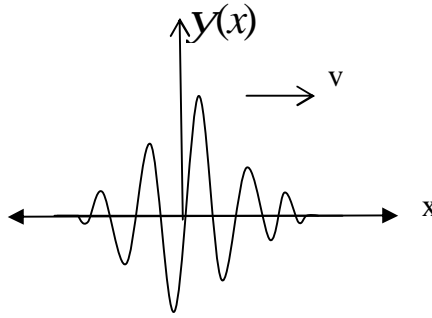
5) $|\psi(x,t)|^2$ parçacığın bulunma olasılığının yüksek olduğu yerde büyük, düşük olduğu yerde ise küçüktür.

$\psi(x,t)$ klasik bir dalga hareketinde olduğu gibi bir takım parçacığın uzanımının konumla değişimini ifade eden bir fonksiyon değildir. $\psi(x,t)$ yalnızca parçacığa eşlik eden dalganın matematiksel ifadesidir. Doğrudan parçacığın herhangi bir fiziksel özelliğini temsil etmez.

2) Dalga Paketi Kavramı

Elektronların kırınımı deneyi ile birlikte kuantum mekaniksel parçacıkların hem dalga hem de parçacık özelliği taşıdıkları ortaya konmuştur. Kuantum mekaniksel parçacıkların dalga karakterini anlayabilmek için lokalize olmuş (sınırlandırılmış) dalga kavramını ele almak zorundayız. Lokalize olmuş dalgalar, farklı frekansa sahip

dalgaların belirli bir düzen içinde üst üste gelmesi ile elde edilir. Farklı frekansa ve genliğe sahip dalgaların üst üste binmesi sonucu oluşan, uzayın belirli bir bölgesinde sınırlı dalga fonksiyonu dalga paketi olarak isimlendirilir. İdeal bir dalga paketi, farklı frekansta, farklı şiddette ve farklı yayılma doğrultusunda yayılan, sonsuz sayıda dalganın belirli bir noktada bir anda üst üste binmesi (girişimi) ile oluşur. Kuantum mekaniksel parçacığa eşlik eden dalgaların en yoğun olduğu yerde parçacığın bulunma olasılığı daha yüksektir.



(+x yönünde v hızıyla ilerleyen bir dalga paketi)

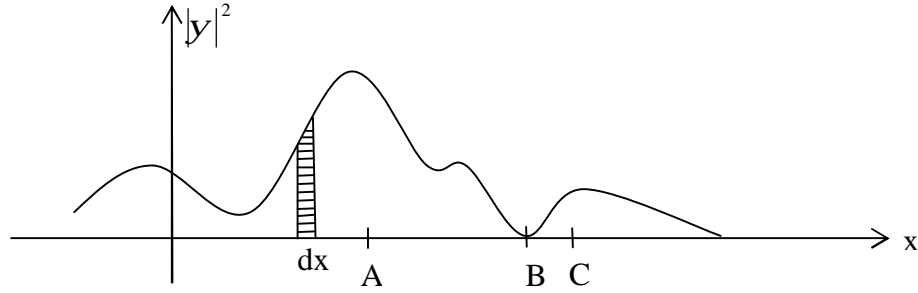
$\Psi(x,t) = Ae^{-bx^2} e^{i(kx-\omega t)}$ uzayda ilerleyen bir elektronun yada kuantum mekaniksel bir parçacık için tanımlı dalga paketinin matematiksel ifadesidir. Bu matematiksel fonksiyon kuantum mekaniksel bir parçacığa eşlik eden sürekli, tek değerli ve ıraksak olmayan (sonlu) bir fonksiyondur.

3) Ψ Dalga Fonksiyonunun İstatistiksel Yorumu

Parçacığa eşlik eden dalga fonksiyonunun taşıması gereken özelliklerden birisi de dalga fonksiyonunun mutlak değer karesinin, parçacığın bulunma olasılığını ifade etmesiydi. Buna göre $|\Psi(x,t)|^2$ için Max Born $\Psi(x,t)$ ile tanımlanabilen bir parçacığın herhangi bir t anında x ile x+dx aralığındaki bulunma olasılığını,

$$P(x,t)dx = |\Psi(x,t)|^2 dx = \Psi^*(x,t)\Psi(x,t)dx \dots(3)$$

şeklinde tanımlamıştır. Buradaki $P(x,t)$ ifadesi “bulunma olasılığı yoğunluğu” dur. Buna göre $|y(x,t)|^2$ nin en büyük olduğu yerde parçacığın bulunma olasılığını en yüksektir. Parçacığa eşlik eden dalga fonksiyonunun karesi, parçacığın bulunma olasılığını ifade eder. Aşağıda bir kuantum mekaniksel parçacık için olasılık yoğunluğunun konuma bağlı grafiği keyfi bir şekilde verilmiştir.



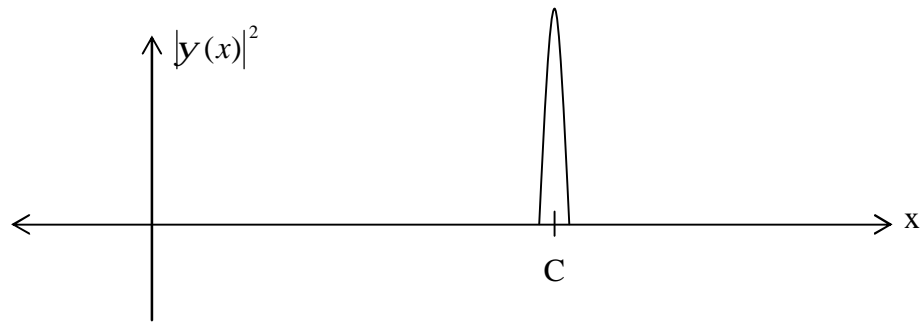
Şekil 2. Örnek olarak alınmış bir dalga fonksiyonu.

Bu şekle göre parçacık en büyük olasılıkla A yakınlarında bulunur. B yakınlarında bulunma olasılığı ise en düşüktür ya da sıfırdır. Taralı alan ise dx bölgesinde parçacığın bulunma olasılığını verir.

Yukarıda yapılan istatistiksel yorum kuantum fiziğinde bir çeşit belirsizlik önerir. Buna göre parçacığın yerine yönelik olarak yapılacak tek bir ölçüm ile parçacığın kesin bir şekilde nerede olduğunu tahmin edemeyiz. Bu belirlenemezlik fizikçileri ve aynı zamanda filozofları derin bir şekilde rahatsız eder. Bu durum “doğanın bir garipliği midir, yoksa teorinin bir eksikliği midir, ya da ölçme cihazlarından mı kaynaklanan bir durumdur” konuları uzunca bir süre tartışılmalıdır.

Örneğin; bir parçacığın konumunu ölçtüğümüzü kabul edelim ve C noktasında bulduğumuzu düşünelim. Ölçüm yapılmadan hemen önce de parçacık C noktasında mıydı? Sorusunun yanıtı sizce ne olabilir? Parçacık ölçülmeden önce kesin bir konuma sahip değildir. Ölçme işlemi sonucu parçacık dalga fonksiyonunun istatistiksel yorumu

ile sınırlandırılmış belirli bir değere sahip olur. Eğer ilk ölçümden hemen sonra aynı parçacık üzerine ikinci bir ölçüm yaparsak, tekrar aynı sonucu mu buluruz yoksa ölçme işlemi tamamen yeni bir değer oluşmasına mı sebep olur? Aynı parçacık üzerine tekrarlanan ölçüm aynı değere döner. Çünkü ilk ölçüm dalga fonksiyonunu değiştirdi. Bundan dolayı artık dalga fonksiyonu C noktası çevresinde keskin bir pik değere sahiptir. Bu durum “dalga fonksiyonunun çökmesi” olarak bilinir. (aynı ölçümü elde edebilmek için, y fonksiyonu bir süre sonra tekrar dağılarak özelliklerini değiştireceğinden dolayı ikinci ölçümü çok hızlı bir şekilde yapmak gerekir)



Şekil 3. Dalga fonksiyonunun çöküşü.

Bu yüzden kuantum mekaniksel bir parçacığın herhangi bir fiziksel özelliğini belirlemek istiyorsak, aynı parçacık üzerine defalarca ölçüm alamayacağımıza göre, birbirinin aynısı kuantum mekaniksel parçacıklar için ayrı ayrı ölçüm alırız. Bu yüzden kuantum fiziğin anlaşılması için olasılık kavramının iyi anlaşılması gerekir.

4) Olasılık Kavramı

Kuantum fiziğinin istatistiksel yorumundan dolayı, olasılık kavramı kuantum fiziği kavramlarının merkezinde yer alır. Kuantum fiziğini anlayabilmek için olasılık kavramını iyi anlamak gerekir. Bunun için aşağıdaki örneği inceleyelim.

Örneğin bir sınıftaki 14 öğrencinin yaşları aşağıdaki gibidir.

Bir kişi 14

Bir kişi 15

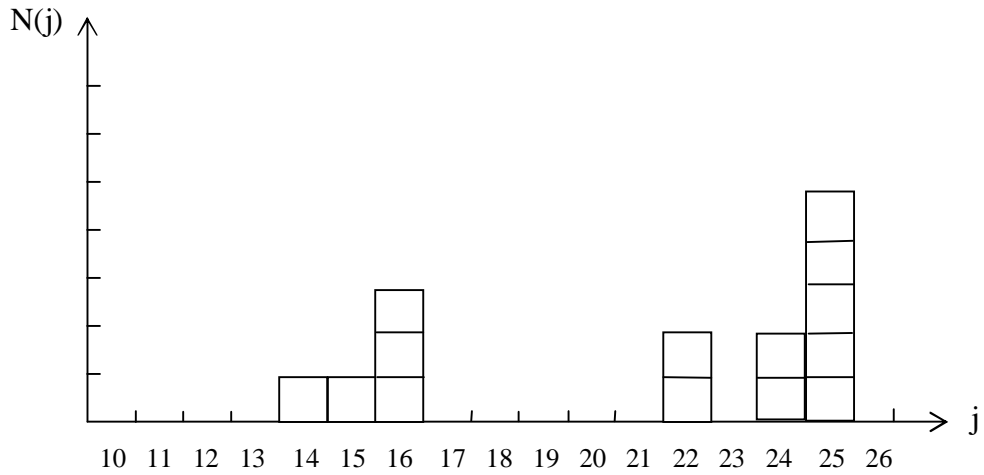
Üç kişi 16

İki kişi 22

İki kişi 24

Beş kişi 25

Yukarıdaki bilgilere göre $N(j)$ j yaşındaki kişilerin sayısını gösterebiliriz bu durumda $N(14) = 1$, $N(15) = 1$, $N(16) = 3$, $N(22) = 2$, $N(24) = 2$ ve $N(25) = 5$ olarak bulunur. Bu durumda $N(j)$ ile j arasındaki grafik aşağıdaki gibi olur.



Şekil 4. Örnekteki yaş dağılımının grafiği.

Bu durumda bu sınıftaki toplam kişi sayısını

$N(14) + N(15) + N(16) + N(22) + N(24) + N(25)$ aynı yaşta bulunan kişilerin sayılarını toplayarak bulabiliriz. Bu ifadenin genel halini

$$N = \sum_{j=0}^{\infty} N(j) \dots (4)$$

Şeklinde gösterebiliriz. Bu verilere göre aşağıdaki soruları yanıtlayalım.

Soru1: Eğer bu gruptan rasgele bir kişiyi seçersek, bu seçilen kişinin 14,15 ve 16 yaşlarında olma olasılığı nedir? Buna göre bulunma olasılığı için genel bir ifade yazınız.

Yanıt: Olasılıkları birbirine eşit 14 olası sonuç var. 14 yaşında ise 1 kişi var. $P(j)$, j yaşına sahip olanların seçilme olasılığı göstermek üzere seçilen kişinin 14 yaşında

olma olasılığı $P(14) = \frac{1}{14}$, $P(15) = \frac{1}{14}$, $P(16) = \frac{3}{14}$ olarak yazılır. Buna göre bulunma olasılığı için genel ifadeyi

$$P(j) = \frac{N(j)}{N} \dots\dots(5)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada diğer tüm durumlarda olduğu gibi bütün olasılıkların toplamı 1' e eşit olmak zorundadır. Bunun böyle olduğu yukarıdaki tüm olasılıklar toplanarak bulunabilir. Tüm olasılıkların toplamı için

$$\sum_{j=1}^{\infty} P(j) = 1 \dots\dots(6)$$

ifadesi yazılabilir.

Soru 2: Seçilme olasılığı en yüksek olan yaş hangisidir?

Yanıt: 25 tir. 5 kişi bu yaş gurubundadır. P(j) maksimumdur.

Soru 3: Yaş dağılımının orta değeri(medyan) nedir?

Yanıt: 23 tür, çünkü değerler küçükten büyüğe sıralandığında ortadaki değer medyan olarak tanımlanır. Bu örnek için bu değer 23 tür.

Soru 4: Yaş dağılımının ortalaması (mean) nedir? Ortalama değer için genel bir ifade yazınız.

Yanıt: Olasılıklarla değerlerin çarpımlarının toplamı yaş dağılımının ortalamasını verecektir. Buna göre;

$$\frac{1}{14}14 + \frac{1}{14}15 + \frac{3}{14}16 + \frac{2}{14}22 + \frac{2}{14}24 + \frac{5}{14}25$$

$$\frac{(14) + (15) + 3(16) + 2(22) + 2(24) + 5(25)}{14} = \frac{294}{14} = 21$$

sonucu bulunur. Genel olarak ortalama değer $\langle j \rangle$ şeklinde gösterilirse ortalama değeri için genel ifadeyi

$$\langle j \rangle = \frac{\sum jN(j)}{N} = \sum_{j=0}^{\infty} jP(j) \dots(7)$$

şeklinde şekilde yazabiliriz. Yaş dağılımı örneğinin orta değeri 23 ve ortalaması 21 bulunmuştur. Fakat bu gruptaki hiç kimse 21 ya da 23 yaşında değildir.

Soru 5: Yaşların karelerinin ortalaması nedir?

Yanıt: Genel olarak karelerinin ortalaması, değerlerin kareleri ile olasılıklarının çarpımların toplamına eşittir. Buna göre $(14)^2=196$ ve olasılığı $\frac{1}{14}$, $(15)^2=225$ ve olasılığı $\frac{1}{14}$, $(16)^2=256$ ve olasılığı $\frac{3}{14}$... Şeklinde devam eder. O halde karelerinin ortalaması

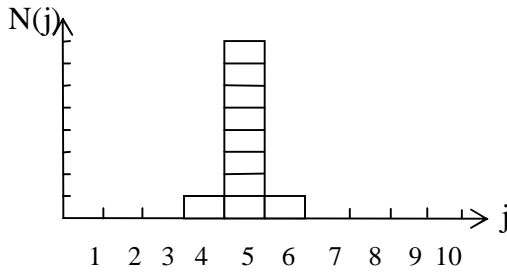
$196\frac{1}{14} + 225\frac{1}{14} + 256\frac{3}{14}$... ifadesinden bulunur. Bu ifadeyi genelleştirirsek

$$\langle j^2 \rangle = \sum_{j=0}^{\infty} j^2 P(j) \dots(8)$$

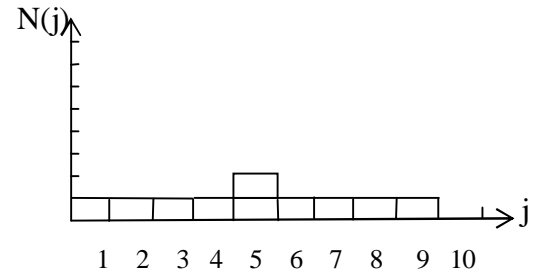
yazılabilir. Yukarıdaki açıklamalar ve (7) ile (8) eşitliklerini göz önünde bulundurursak, işlemler sonucunda bir matematiksel fonksiyonun ortalamasını için en genel ifade aşağıdaki gibidir.

$$\langle f(j) \rangle = \sum_{j=0}^{\infty} f(j)P(j) \dots(9)$$

Bir fonksiyonun her bir değerinin olasılığı ile çarpımların toplamı o fonksiyonun ortalama değerini ifade eder. Yukarıdaki örnek için yapılan işlemlerden görüldüğü gibi karelerin ortalaması $\langle j^2 \rangle$ ile ortalamaların karesi $\langle j \rangle^2$ birbirine eşit ifadeler değildir. Bu durumu ortaya koyan bir başka örneği inceleyelim. Bir odada yaşları 1 ve 3 olan iki bebek olduğunu düşünelim. Bu bebeklerin yaşlarının karelerinin ortalaması 5, ortalamalarının karesi ise 4 olur. Farklı dağılıma sahip olupta, aynı ortalama ve orta değere sahip olan iki dağılım örnek olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 5



Şekil 6

Şekil 5 ve 6 aynı sayıda elemana, orta değere, ortalamaya sahip oldukları gibi olasılığı en yüksek olan değerleri de aynıdır. Fakat bu iki grafik çarpıcı bir şekilde bir birinden farklı bir dağılıma sahiptirler. Şekil 5 ortalama değer üzerinde bir yığılma gösterirken, şekil 6 daha geniş bir dağılım gösterir. Bizim bu grafiklerin dağılımlarını ifade edebilecek bir kavrama ihtiyacımız vardır. Her bir değerlerin ortalamadan ne kadar uzaklıkta olduğunu ortaya koyan kavram Δj matematiksel olarak aşağıdaki gibi verilir.

$$\Delta j = j - \langle j \rangle \dots (10)$$

Her bir değer için elde edilen uzaklıkların ortalamasını alırsak

$$\langle \Delta j \rangle = \sum (j - \langle j \rangle) P(j) = \sum j P(j) - \langle j \rangle \sum P(j) \quad \text{burada } \Delta j \text{ 'nin}$$

ortalaması negatif ya da pozitif değer alabileceği gibi sıfır da olabilir. Bu yüzden Δj nin karesini ortalamasını alarak bu sorunun üstesinden gelebiliriz.

$$s^2 \equiv \langle (\Delta j)^2 \rangle \dots (11)$$

s^2 ifadesi varyans olarak isimlendirilir. (11) eşitliğini daha önce bulduğumuz ortalama değer ifadesinde yerine koyarsak;

$$\begin{aligned} s^2 &= \langle (\Delta j)^2 \rangle = \sum (\Delta j)^2 P(j) = \sum (j - \langle j \rangle)^2 P(j) \\ &= \sum (j^2 - 2j\langle j \rangle + \langle j \rangle^2) P(j) \\ &= \sum j^2 P(j) - 2\langle j \rangle \sum j P(j) + \langle j \rangle^2 \sum P(j) \\ &= \langle j^2 \rangle - 2\langle j \rangle \langle j \rangle + \langle j \rangle^2 \\ s^2 &= \langle j^2 \rangle - \langle j \rangle^2 \dots (12) \end{aligned}$$

Sonucu elde edilir. Varyans negatif olamaz çünkü; $\langle j^2 \rangle \geq \langle j \rangle^2$ eğer bu iki değer birbirine eşitse varyans sifira eşittir. s nın sifir olması dağılımın olmadığı anlamına gelir. Bir dağılımın varyansını ve standart sapmasını bulabilmek için dağılımda yer alan her değer (9) eşitlikten karesinin ortalama değerini ve ortalama değer karesini hesaplayabilmemiz gerekir. Bunun içinde dağılımların $P(x)$ olasılık ifadesini bilmemiz gerekir. Olasılık işlemlerinde bir aralık tanımlamak gerekir örneğin sokaktan rasgele bir kişi seçelim. Bu kişinin yaşının tam olarak 16 yıl, 4 saat, 27 dakika ve 3,33333 saniye olma olasılığı sıfırdır. Bu kişinin yaşı hakkında tahminde bulunmanın en iyi yolu bir aralık tanımlamaktır. 16 yaş ve 16 yaş+1 gün gibi. Rasgele bir seçimde x ile $x+dx$ aralığında bulunma olasılığı $P(x)dx$ ile ifade edilir. Yukarıda yapılan tanımlamalar klasik durumlar için ve olasılıkların kesikli olduğu durumlar için yapıldı. Bu tanımlamaları kuantum fiziğinde yapabilmek için \sum toplam işlemi yerine, integral ifadesi kullanılması gerekmektedir. Bunun sebebi kuantum fiziğinde olasılık yoğunluğunun sürekli bir matematiksel fonksiyon olmasıdır. Bu durumda kuantum mekaniksel bir parçacığın tek boyutlu x uzayında a ve b değerleri arasında toplam bulunma olasılığı şeklinde ifade edilir.

$$P_{ab} = \int_a^b P(x)dx \dots(13)$$

şeklinde ifade edilir. Kuantum mekaniksel parçacıklar için bulunma olasılığı yoğunluğunun, parçacığa eşlik eden dalgaların mutlak değer karesine eşik olduğunu göz önünde bulundurursak($P(x,t)dx = |\Psi(x,t)|^2 dx = \Psi^*(x,t)\Psi(x,t)dx$). Kuantum mekaniksel bir parçacığın a, b noktaları arasında bulunma olasılığı

$$P_{ab} = \int_a^b P(x)dx = \int_a^b |\Psi(x,t)|^2 dx = \int_a^b \Psi^*(x,t)\Psi(x,t)dx \dots(14)$$

şeklinde ifade edilir. (13) ve (14) eşitliklerinden yararlanarak kuantum mekaniksel parçacıkların konumu ve konumunun karesi için ortalama değer ifadelerini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\langle x \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} xP(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} x|\Psi(x,t)|^2 dx = \int_{-\infty}^{\infty} x\Psi(x,t)^* \Psi(x,t)dx \dots(14)$$

$$\langle x^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 P(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 |\Psi(x,t)|^2 dx = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \Psi(x,t)^* \Psi(x,t)dx \dots(15)$$

Bu iki eşitlikten yararlanarak kuantum mekaniksel parçacıkların standart sapmaları aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$S^2 \equiv \langle (\Delta x)^2 \rangle = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2 \quad (16)$$

5) Ortalama Değer ve Standart Sapmanın Klasik Fizikteki Anlamı

Bir fiziksel büyüklüğün değerini belirlemek için aynı sistem üzerine birçok ölçüm yaptığımızda birbirinden farklı değerler elde edebiliriz. Örneğin bir uzunluğu çok duyarlıklı bir ölçü aleti ile ölçtüğümüzde aynı değeri ölçmemiz gerekirken her zaman aynı değeri elde edemeyiz. Çünkü ölçme sonucuna karışan birçok hata vardır. Bu

hataların bir kısmı düzenli bir kısmı ise rastlantısal hatalardır. Düzenli hatalar daima aynı yönde olan yani bütün ölçümlerin ya çok büyük ya da çok küçük bulunmasına sebep olan hatalardır. Rastlantı hataları ise yönü bilinmeyen ve pozitif veya negatif olma ihtimali eşit olan hatalardır.

Düzenli hatalar kullanılan ölçü aletinden, kişisel yetersizliklerden ve izlenen yöntemden, dış etkenlerden ileri gelen hatalardır. Rastlantı hataları ölçü aletlerinin duyarlılığı ve duyu organlarının yetersizliğinden ileri gelen, yönü bilinmeyen; sebebi bilinse bile ortadan kaldırılamayan hatalardır. Rastlantı hatalarının sonuca etkisini azaltmak için tek çare ölçüleri mümkün olduğu kadar çok sayıda tekrarlamaktır. Yapılan bir seri ölçümün aritmetik ortalaması, ölçülmek istenen büyüklüğün gerçek değerine en yakın sonucu verir. Bu bakımdan fizikte tek bir ölçümün pek büyük bir değeri yoktur. Standart sapma ölçümde elde edilen değerlerinin frekans dağılımının ne kadar geniş bir aralıkta olduğunu ifade eder. Bunun diğer bir anlamı da yapılan birçok ölçüm neticesinde bizden, deneysel düzeneğimizin mükemmel olmamasından kaynaklanan mutlak hatayı ifade eder. Standart sapmanın küçük olması, ortalamadan sapmaların az olduğu ve daha duyarlıklı ölçüm değerleri elde edildiğini gösterir.

Kuantum fiziğinde ise standart sapma ve ortalama değer kavramları çok daha farklı anlamlar içermektedir. Klasik fizikte ve kuantum fiziğinde ortalama değer ve standart sapma kavramları aynı şekilde ifade edilmesine rağmen fiziksel anlamları birbirinden son derece farklıdır. Klasik fizikte yukarıda belirtildiği gibi standart sapma kesin, belirli bir değer ölçülmesindeki hatayı ifade ederken, kuantum fiziğinde, kuantum mekaniksel parçacığın fiziksel özelliklerinin ölçümündeki belirsizliği ifade eder. Ortalama değer ise klasik fizikte ölçülmek istenen büyüklüğün gerçek değerine en yakın sonucu ifade ederken, kuantum fiziğinde parçacığın bulunabileceği tüm olası değerlerin ortalamasını ifade eder. Bu yüzden kuantum fiziğinde ortalama değer adı beklenen değer, standart sapmanın adı ise belirsizliktir. Bundan sonra bu ifadeler kullanılacaktır.

6) Normalizasyon

Dalga fonksiyonunun yorumuna geri dönersek, $P(x,t)=|\psi(x,t)|^2$ parçacığın x noktasında t anında birim uzunlukta parçacığın bulunma olasılığını ifade eder ki biz buna bulunma olasılığı yoğunluğu diyoruz. Buna göre parçacığın bulunma olasılığının en yüksek olduğu yerde $P(x,t)$ en büyük, en düşük olduğu yerde ise en küçüktür. Her ne durumda olursa olsun bir tek parçacık ele alındığında parçacık yok olmayacağına göre ve uzayın tamamında % 100 olasılıkla bulunmak zorundadır. Bu durumda ,

$$\text{Toplam Bulunma Olasılığı} = P = \int_{-\infty}^{\infty} P(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} |\psi(x,t)|^2 dx = \frac{100}{100} = 1$$

şeklinde tanımlanır. Bu eşitliğe kuantum fiziğinde normalizasyon koşulu denir ve bütün dalga fonksiyonlarının bu eşitliği sağlaması gerekir. Bu eşitlik sağlanmaksızın istatistiksel yorum anlamsızdır.

2) MOMENTUM KAVRAMI VE BELİRSİZLİK İLKESİ

DERS İÇERİĞİ METNİ

1) Kuantum Fiziğinde Momentum Kavramı

ψ dalga fonksiyonu ile ifade edilen bir kuantum mekaniksel parçacığın konumunun beklenen değerinin

$$\langle x \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x |\psi(x, t)|^2 dx$$

şeklinde ifade edildiğini görmüştük. Bu eşitliğin kesinlikle bir parçacığın üst üste defalarca konumunun ölçülmesi sonucu elde edilen değerlerin ortalaması anlamına gelmediğini çünkü parçacığın konumunu belirlemek için yapılacak ilk ölçümün sistemin fiziksel durumunu değiştireceğini ve parçacığın olası değerlerini tek bir değere indirgeyeceğini bundan sonra parçacığın konumuna belirlemeye yönelik olarak yapılacak ölçümlerin ise hep aynı sonucu vereceğini belirtmiştik. Bu yüzden kuantum mekaniksel bir parçacığın konumunu belirleyebilmek için ya her ölçümden sonra parçacığın orijinal durumuna dönmesi için bir yol bulmak gerekir ya da aynı ψ dalga fonksiyonu ile ifade edilen bir grup özdeş parçacığın her birinin konumunu ölçmek gerekir. Kuantum mekaniksel parçacıklar için tanımlanan ψ dalga fonksiyonu zamanla değişeceği için, parçacığın konumunun beklenen değeri de zamanla değişecektir. Kuantum mekaniksel parçacıkların konumunun beklenen değerinin zamanla değişimini konumunun beklenen değerinin zamana göre türevini alarak ifade edebiliriz. Bu durumda parçacığın konumunun beklenen değerinin zamana göre türevi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{d\langle x \rangle}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int x |\psi|^2 dx \dots (1)$$

Bu denklem aynı zamanda parçacığın hızının beklenen değerini ifade eder. Bu ifade klasik anlamda tanımlanan hız ile aynı anlama gelmez çünkü parçacığın konumu

için olasılıklar söz konusu olduğundan hızı içinde olasılıklar söz konusudur. Diğer bir deyişle parçacık belli olasılıklarla belli hızlara sahip olmak zorundadır. Bu yüzden verilen bir ψ fonksiyonundan yararlanarak hızın beklenen değerini bulabiliriz. Kuantum mekaniksel bir parçacığın hızının x bileşeninin beklenen değeri

$$\langle v_x \rangle = \frac{d\langle x \rangle}{dt} \dots\dots(2)$$

denklemleriyle ifade edilir. Momentumun klasik tanımı $P = mv$ olduğundan kuantum mekaniksel bir parçacık için momentumun beklenen değerini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$\langle \hat{p}_x \rangle = m \frac{d\langle x \rangle}{dt} = \int \psi^* \hat{p}_x \psi dx \dots\dots(3)$$

Operatörler üzerine uygulandıkları fonksiyonları başka fonksiyonlara dönüştüren matematiksel işaretlerdir. Kuantum fiziğinde her bir dinamik değişkene (konum, hız, momentum, enerji) bir operatör karşılık gelir yani her fiziksel kavram bir operatörle ifade edildiğinden yukarıdaki denklemde momentumun x bileşeni yerine onun operatör karşılığı olan $\hat{p}_x = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}$ yerleştirilerek aşağıdaki ifade bulunur.

$$\langle \hat{p}_x \rangle = \int \psi^* \left(\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \right) \psi dx \dots\dots(4)$$

Yukarıdaki tanımlar serbest değişkenin x,y ve z olduğu uzayda yapıldığından konumun operatör karşılığı olarak yine kendisi yani x kullanılmıştır.

$$\langle x \rangle = \int \psi^*(x) x \psi dx \dots\dots(5)$$

2) Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi (HBI)

Kuantum mekaniksel bir parçacığın iki fiziksel niceliğinin ölçülmesi neticesinde ortaya çıkacak olan belirsizlik miktarını bulalım. Daha önceden $S^2 \equiv \langle (\Delta j)^2 \rangle$ ifadesinin

varyans olduğunu söylemiştik ve varyans ifadesinin karekökü de bize standart sapmayı verir. Dolayısıyla $s^2 \equiv \langle (\Delta j)^2 \rangle = \langle j^2 \rangle - \langle j \rangle^2$ olduğunu daha önceden bulmuştuk. Burada

$(\Delta j)^2 = (j - \langle j \rangle)^2$ ifadesi kullanılırsa

$$s^2 \equiv \langle (\Delta j)^2 \rangle = \langle (j - \langle j \rangle)^2 \rangle = \langle j^2 - 2j\langle j \rangle + \langle j \rangle^2 \rangle = \langle j^2 \rangle - 2\langle j \rangle \langle j \rangle + \langle j \rangle^2 = \langle j^2 \rangle - \langle j \rangle^2$$

ifadesi bulunabilir. Bu eşitliği kullanarak \hat{A} ve \hat{B} gibi iki operatörlerle tanımlanan kuantum mekaniksel bir parçacığın iki fiziksel niceliğinin ölçümündeki belirsizliği s_a ve s_b şeklinde ifade edebiliriz. Bu durumda

$$s_a^2 = \langle (\hat{A} - \langle \hat{A} \rangle)^2 \rangle \dots (6)$$

$$s_b^2 = \langle (\hat{B} - \langle \hat{B} \rangle)^2 \rangle \dots (7)$$

ifadeleri yazılabilir. Bu iki eşitliği üç boyutlu uzayda yazarsak

$$s_a^2 = \langle (\hat{A} - \langle \hat{A} \rangle)^2 \rangle = \int_V \mathbf{y}^*(r) (\hat{A} - \langle \hat{A} \rangle)^2 \mathbf{y}(r) d^3r \dots (8)$$

$$s_b^2 = \langle (\hat{B} - \langle \hat{B} \rangle)^2 \rangle = \int_V \mathbf{y}^*(r) (\hat{B} - \langle \hat{B} \rangle)^2 \mathbf{y}(r) d^3r \dots (9)$$

eşitlikleri bulunur. Şimdi $\hat{U} = \hat{A} - \langle \hat{A} \rangle$ ve $\hat{V} = \hat{B} - \langle \hat{B} \rangle$ şeklinde iki operatör tanımlayalım. Bu yeni operatörlerin gözlenebilir türden olması ve beklenen değerlerinin mutlaka gerçel olması gerekir. Hermitik operatörler beklenen değeri gerçel olan operatörlerdir. Herhangi bir \hat{A} operatörünün hermitik olması için $\langle \hat{A} \rangle = \langle \hat{A} \rangle^*$ yani $\int \mathbf{y}^* \hat{A} \mathbf{y} dx = \int \mathbf{y} (\hat{A} \mathbf{y})^* dx$ koşulu sağlanmalıdır. \hat{A} ve \hat{B} hermitik olduğundan \hat{U} ve \hat{V} de hermitiktir diyebiliriz. İki operatör için diğer önemli ilişki ise komütasyon ilişkisidir. İki operatörün komütasyon ilişkisini şu şekilde ifade ederiz. Eğer \hat{A} ve \hat{B} gibi iki operatör ele alınırsa ve bu operatörlerin komüt olup olmamasını ifade eden komütasyon eşitliği $\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A} = [\hat{A}, \hat{B}] = \hat{C}$ denklemi ile verilir. Eğer burada $\hat{C} = 0$ ise \hat{A}

ve \hat{B} birbirinin komüt operatörüdür denir. Komüt olan operatörler fiziksel anlamda tamamen birbirinden bağımsızdır ve eş zamanlı olarak istenilen duyarlılıkta ölçülebilirler. Eğer komütatörü yani \hat{C} sıfır değilse bu iki operatör birbiri ile yakından ilişkili olup istenilen duyarlılıkta ölçülemez demektir. Bu durumda $[\hat{U}, \hat{V}] = [\hat{A}, \hat{B}] = \hat{C}$ olur. Şimdi s_a ve s_b ifadelerini bu yeni tanımlar cinsinden yazalım. Bu durumda $\int_V \mathbf{y}^*(\mathbf{r}) \hat{A} \mathbf{y}(\mathbf{r}) d^3 r = (\mathbf{y}, \hat{A} \mathbf{y})$ tanımı kullanılarak aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$s_a^2 = (\mathbf{y}, U^2 \mathbf{y})$ ve $s_b^2 = (\mathbf{y}, V^2 \mathbf{y})$ ayrıca \hat{U} ve \hat{V} nin hermitik olmasından dolayı, $s_a^2 = (U\mathbf{y}, U\mathbf{y})$ ve $s_b^2 = (V\mathbf{y}, V\mathbf{y})$ eşitlikleri yazılabilir. Eğer burada $U\mathbf{y} = \mathbf{y}_A$ ve $V\mathbf{y} = \mathbf{y}_B$ dalga fonksiyonları tanımlanırsa $s_a^2 s_b^2 = (\mathbf{y}_A, \mathbf{y}_A)(\mathbf{y}_B, \mathbf{y}_B)$ şeklinde yazılabilir. Buradan dalga fonksiyonu uzayında tanımlanan

$|(f, \mathbf{y})|^2 \leq (f, f)(\mathbf{y}, \mathbf{y})$ şeklinde verilen Schwarz eşitsizliği

kullanılırsa $s_a^2 s_b^2 \geq |(\mathbf{y}_A, \mathbf{y}_B)|^2$ değeri elde edilir. Eğer hermitik olma özelliği kullanılırsa

$(\mathbf{y}_A, \mathbf{y}_B) = (U\mathbf{y}, V\mathbf{y}) = (\mathbf{y}, \hat{U}\hat{V}\mathbf{y})$ yazılabilir. Bu noktada iki operatörün çarpımı

için $\hat{U}\hat{V} = \frac{\hat{U}\hat{V} - \hat{V}\hat{U}}{2} + \frac{\hat{U}\hat{V} + \hat{V}\hat{U}}{2}$ yazılabilir. O halde

$\hat{U}\hat{V} = \frac{[\hat{U}, \hat{V}]}{2} + \left(\frac{\hat{U}\hat{V} + \hat{V}\hat{U}}{2} \right) = \frac{\hat{C}}{2} + \frac{\hat{U}\hat{V} + \hat{V}\hat{U}}{2}$ bulunur. Bu ifadeyi $(\mathbf{y}_A, \mathbf{y}_B)$ skaler çarpım

ifadesinde yerine yazarsak.

$$(\mathbf{y}_A, \mathbf{y}_B) = \left[\mathbf{y}, \left(\frac{\hat{C}}{2} + \frac{\hat{U}\hat{V} + \hat{V}\hat{U}}{2} \right) \mathbf{y} \right] \text{ ve}$$

$(\mathbf{y}_A, \mathbf{y}_B) = (\mathbf{y}, \frac{\hat{C}}{2} \mathbf{y}) + (\mathbf{y}, (\frac{\hat{U}\hat{V} + \hat{V}\hat{U}}{2}) \mathbf{y})$ ifadesi bulunur. Bu son eşitlikte

$(\mathbf{y}_A, \mathbf{y}_B)$ nin mutlak değer karesi, bu iki terimden birinin karesinden daima büyük olacaktır. Yani;

$$|(\mathcal{Y}_A, \mathcal{Y}_B)|^2 \geq \left| \mathcal{Y}, \frac{\hat{C}}{2} \mathcal{Y} \right|^2 \dots (10) \text{ yazılabilir.}$$

O halde $s_a^2 s_b^2 \geq |(\mathcal{Y}_A, \mathcal{Y}_B)|^2 \geq \left| \mathcal{Y}, \frac{\hat{C}}{2} \mathcal{Y} \right|^2$ olmalıdır. Sonuç olarak

$$s_a s_b \geq \left(\mathcal{Y}, \frac{\hat{C}}{2} \mathcal{Y} \right) \dots (11) \text{ bulunur.}$$

Bu ifade kuantum fiziğinin en temel ilkelerinden birisi olan Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin genelleştirilmiş şeklidir. Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi irdelenirse aşağıdaki noktalar ön plana çıkar.

i-) $\hat{C}=0$ ise iki operatörün ölçümündeki belirsizliklerin çarpımı sıfır ya da daha büyük olacaktır. Bu tür operatörler birlikte kesin olarak ölçülebilirler.

ii-eğer $\hat{C} \neq 0$ ise bu iki büyüklük aynı deneyde aynı anda mutlak kesinlikle ölçülemez.

Örneğin; konum ve momentum operatörlerini ele alalım $[x, P_x] = x \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} - \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} x = i\hbar$ $\hat{C}=i\hbar$ yani sıfıra eşit değildir. Bu durumu görmek

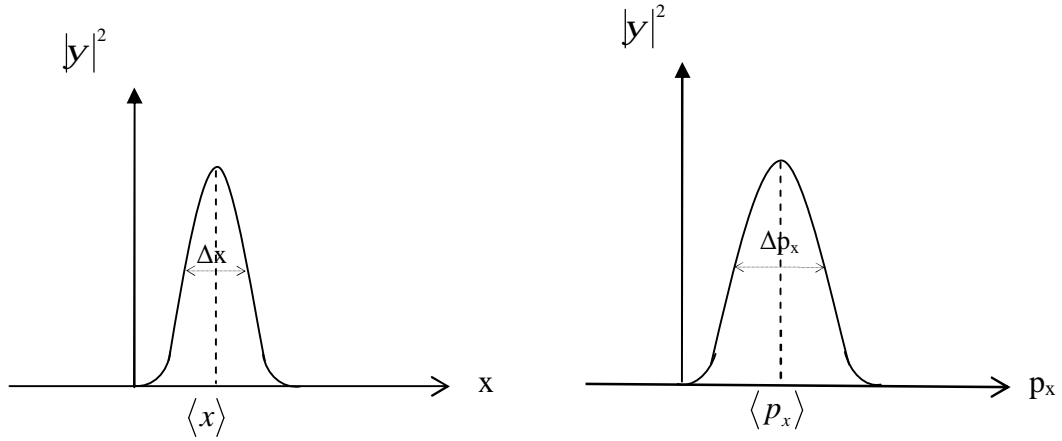
amacıyla $s_x s_{P_x} \geq \left(\mathcal{Y}, \frac{\hat{C}}{2} \mathcal{Y} \right)$ bağıntısını p_x ve x için düzenlersek

$s_x s_{P_x} \geq \left(\mathcal{Y}, \frac{i\hbar}{2} \mathcal{Y} \right) = \frac{\hbar}{2}$ sonucunu elde ederiz Bu sonuca göre, kuantum mekaniksel bir

parçacığın momentumun x bileşeni olan p_x ile x doğrultusundaki konumu yani x aynı deneyde eş duyarlılıkla ölçülemez. Ayrıca $[\hat{y}, \hat{P}_x] = [\hat{z}, \hat{P}_x] = [\hat{x}, \hat{P}_y] = [\hat{z}, \hat{P}_y] = \dots = 0$ olduğundan kuantum mekaniksel bir parçacık için bu değişkenler aynı deneyde istenilen duyarlılıkta ölçülebilir diyebiliriz.

3) Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin fiziksek anlamı nedir?

1927 yılında Werner Heisenberg (1901-1976) ilk kez birbirinin komütü olan operatörlerin temsil ettiği fiziksel büyüklüklerin aynı deneyde son derece doğrulukla belirlenmenin olanaksız olduğu kavramını ortaya koydu. Belirsizlik ilkesini daha iyi anlayabilmek için bir parçacığın x doğrultusundaki konumu ve bu doğrultudaki momentumunu ele alalım. Belirsizlik ilkesine göre kuantum mekaniksel bir parçacığın konumunu ve momentumunu aynı anda ve son derece doğrulukla belirlenmenin olanaksız olacağını söyleyebiliriz. Örneğin kuantum mekaniksel bir parçacığın konumunu ve momentumunu aynı anda ölçmek istersek; bu parçacığa yönelik tek bir ölçüm yapmak yerine her biri aynı koşulda bulunan özdeş parçacıkların geniş bir gurubunu kullanmak gerekir. (Bir hidrojen atomunun elektronunun yörüngesini belirlemek istiyorsak, bir hidrojen atomu ve tek bir ölçüm yerine birçok hidrojen atomu kullanmak gerekir). Sistemler özdeş olmasına rağmen, x ve P_x 'e yönelik olarak yapılan ölçümlerin sonuçlarının hepsi aynı olmayacaktır. Çünkü mikro evrende sistemler dinamiktir yani sürekli hareket halindedir.



Şekil 6 Özdeş kuantum mekaniksel parçacıkların geniş bir gurubunun konum ve momentum ölçümlerinin dağılımının karakteristiği.

Bir kuantum mekaniksel parçacığın konum ve momentum değerleri beklenen değer çevresinde şekildeki gibi bir dağılım gösterebilir. Bu kuantum mekaniksel parçacığın konumu ve momentumu aynı deneyde sonsuz duyarlılıkta ölçülemez. Mikroskobik parçacıkların bu özelliği Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi olarak tanımlanır.

Buna göre herhangi bir anda, bir parçacığın konumu ve momentumu ölçülmek istenirse, daima deneysel belirsizlikle karşı karşıya kalınır. Kuantum fiziğine göre bir parçacığın konumunu ve hızını aynı anda son derece doğrulukla belirlemek olanaksızdır. Eğer kuantum mekaniksel bir parçacığın konumunun belirsizliği olan $S_x(\Delta x)$ çok küçülürse, kuantum mekaniksel parçacığın momentumunun belirsizliği olan $S_{p_x}(\Delta p_x)$ çok büyür. Bu ifadenin tam terside doğrudur yani parçacığın konumunun belirsizliği olan $S_x(\Delta x)$ çok büyürse, kuantum mekaniksel parçacığın momentumunun belirsizliği olan $S_{p_x}(\Delta p_x)$ çok küçülür. Buna göre sistemleri konum ölçümleri birbirine çok yakın olacak şekilde ayarlarsak bu sefer momentum ölçümleri birbirinden uzaklaşacaktır. Belirsizlik ilkesini kuantum mekaniksel parçacığın x doğrultusundaki konumu ve momentumunun x doğrultusundaki bileşeni için irdelersek, belirsizliği $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ eşitliği ile ifade edebiliriz. Ayrıca bu eşitlikteki pay ve paydayı p_x m ile çarparsak $\left(\Delta x \frac{p_x}{m} \right) \left(\Delta p_x \frac{m}{p_x} \right) \geq \frac{\hbar}{2}$ eşitliğini elde ederiz. Bu eşitlikten $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ sonucu bulunur. Bu durum enerji ile zaman arasında da parçacığın x doğrultusundaki konumu ve aynı doğrultudaki momentumu arasındaki belirsizliğe benzer bir belirsizlik olduğunu gösterir.

3) HEİSENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ UYGULAMALAR ÇALIŞMA METNİ

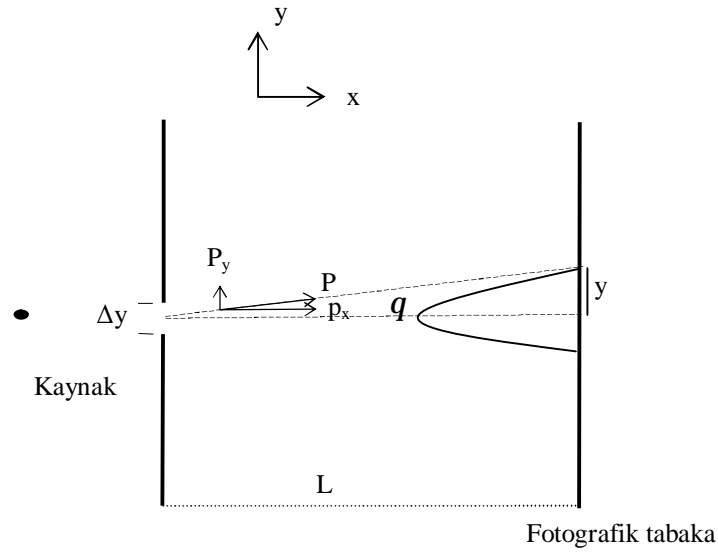
1) Tek Yarıktaki Kırınım Olayında Belirsizlik:

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi kuantum mekaniksel parçacıkların fiziksel büyüklüklerinin ölçülmesi sırasında ortaya çıkan ölçme belirsizliklerini ifade eder. Belirsizlik ilkesine yönelik alan yazın da birçok yanlış tespit edilmiştir. Önceki derslerde bu yanlışların birçoğuna değinmiştik. Bu yanlışların en önemlilerinden birisi belirsizlik ilkesinin ölçüm aletlerinden kaynaklanan bir ölçme hatası olduğudur. Daha önceki anlatımlarımızda kuantum mekaniksel bir sistemde fiziksel büyüklükler ölçüldüğünde elde edilen değerlerdeki farklılık ölçüm yapmadaki hatadan değil, ölçülen fiziksel büyüklüğünün birçok olası değere sahip olmasından kaynaklandığını belirtmiştik. Buna göre Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi tek bir ölçüm ve bu ölçümde ne gözlemlediğimizle ilgili değildir. Bu durumu en iyi ortaya koyan deney tek yarıktaki kırınım olayıdır. Klasik mekanik ve kuantum fiziği arasındaki farkı ortaya koyabilmek için tek yarıktaki kırınım deneyini önce klasik parçacıklar için daha sonrada kuantum mekaniksel parçacıklar için düşünelim.

a) *Klasik Parçacıklarla Tek Yarıktaki Kırınım Deneyi:*

Aşağıdaki şekilde bir kaynaktan çıkan klasik parçacıklar (örneğin mermer topları) genişliği Δy olan bir aralıktan geçerek aralığın L kadar arkasında bulunan ekrana çarpıyor. Bu durumu aşağıdaki şekilde inceleyelim.

Burada q = ilk minimumun meydana geldiği açıyı, $\sin q = \frac{\lambda}{a} = q$ ayırma gücünü ve $a =$ ekran üzerinde görülebilen en yakın iki nokta arasındaki uzaklığı ifade eder



Şekil 1. Tek yarıқта kırınım deneyi

İstenilen zamanda klasik bir parçacığı fırlatan bir kaynağa sahip olduğumuzu düşünelim. Bu parçacıklar sabit bir hız ve kinetik enerji ile tek yarıktan belirli bir uzaklıkta bulunan bir kaynaktan fırlatılırlar. x yönünde hareket eden parçacıklar yarığı geçtikten sonra parçacıkların nereye çarptığı bir detektör (fotografik bir tabaka) tarafından kaydedilsin. Eğer parçacık yarığı geçerse, parçacığın konumu hakkındaki bilgimiz aralığın genişliği kadar belirsizdir. Böylece Δy aralık genişliği parçacığın konumundaki belirsizliğe eşit olur. Parçacığın y doğrultusundaki momentumu ise ekrana çarptığında, parçacığın y doğrultusundaki sürüklenmesine bakarak bulunabilir. Burada parçacığa aralıkla ekran arasında hiçbir kuvvet etki etmediğini düşünüyoruz, böylece parçacığın momentumu sabit kalır. Parçacığın yarıktan ekrana ulaşma süresi ve y doğrultusundaki sürüklenme miktarı biliniyorsa, parçacığın momentumu hesaplanabilir: $P_y = mv_y = m \frac{y}{t}$ dolayısıyla klasik parçacığın hem konumu hem de momentumu belirlenebilmiştir. Yani ekran üzerindeki izler parçacığın yerini ve yukarıda ki bağıntıdan da parçacığın momentumunu tam olarak belirleyebiliriz. Yani belirsizlik ilkesi burada geçerli değildir. Şimdi çok sayıda özdeş topu aynı koşullarda fırlatıp ekrana çarpmalarını sağlayalım. Kaynak çok sayıda parçacığı fırlattığından kısa bir süre sonra parçacıkların fırlatılma doğrultularına bağlı olarak ekranda bir gauss dağılımı oluşacaktır. Şimdi Δy yarık aralığını küçütelim ve ne olacağını düşünelim. Yarık aralığının küçülmesi parçacıkların bir kısmının yarıktan geçerek bir kısmının geriye

yansıyacağı anlamını taşır. Yani ekran üzerindeki Gauss Dağılımı da daralacaktır. Bu durum Δy küçüldükçe Δp_y 'nin de küçüleceği anlamına gelir. Eğer tüm başlangıç koşulları aynı kalırsa parçacıkların herhangi bir anda nerede olduğu ve onun sonraki özellikleri tahmin edilebilir. Böylece kaynaktan çıkacak bir topun ekranda en yüksek olasılıkla nereye çarpacağı dolayısıyla momentumunun y bileşeni diğer topların ekrandaki dağılımına bakarak bulunabilir. Eğer yarık genişliğini azaltırsak, topların ekrandaki dağılımı azalacak böylece parçacığın momentumunun y bileşeni daha yüksek olasılıkla bulunabilecektir. Peki bu deneyi elektron, foton, nötron gibi mikroskobik parçacıklarla gerçekleştirirsek neler olur?

b) Kuantum Mekaniksel Bir Parçacık İçin Tek Yarıқта Kırınım Deneyi

Kuantum mekaniksel parçacıklar için bu tür bir deneyi tekrarlırsak oldukça farklı sonuçlar elde ederiz. Şimdi yukarıda tek yarıқта kırınım deneyini lazer bir kaynak kullanarak gerçekleştirelim. Lazer kaynak klasik olarak bakılırsa aynı dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar demeti yada kuantum mekaniksel bakılırsa aynı de Broglie dalga boyunun eşlik ettiği fotonlar gönderecektir. Gözlemlerimiz şunu göstermektedir. Eğer yarığın genişliği (Δy) gelen parçacıkların de Broglie dalga boyuna (λ) kıyasla büyükse, parçacıkların yada dalgaların detektöre çarpma şiddetinin dağılımı klasik durumdan farklı değildir. Yani ekranda yarık genişliği kadar bir bölgenin aydınlandığını gözleriz. Bu durum yukarıdaki klasik parçacıklarla yapılan deneydeki açıklamalarla tamamen uyum içindedir. Şimdi eğer yarık genişliği azaltılırsa ve yarık genişliği fotonlara eşlik eden dalgaların de Broglie dalga boyuyla kıyaslanacak boyuta gelirse ($\lambda \cong \Delta y$), ekrandaki aydınlık bölgenin genişliği artmaya başlar. Bu fantı geçtikten sonra fotonların ekranda çarpabileceği bölgenin genişlediği anlamına gelir. Biz fant aralığını küçülttükçe yukarıdaki açıklamaların ışığında elektronun konumundaki belirsizliği yani Δy yi küçültüyoruz ancak ekrandaki dağılım genişledikçe elektronun momentumundaki belirsizlik Δp_y artmış oluyor. Deneysel olarak Δy ile Δp_y 'nin ters orantılı olduğu ispatlanmış oluyor. Bu durumu nicel olarak şöyle açıklayabiliriz. Genel olarak ayırma gücü $\sin \theta = \theta = \frac{\lambda}{\Delta y}$ şeklinde yazılabilir. Buradaki

kırınım deseni (ekrandaki foton dağılımı) fotonların gerçekte ekranda farklı noktalara ulaşma olasılığını verir. Dolayısıyla fotonlar $-q$ ve $+q$ arasında herhangi bir yerde olabilir. Fanti geçmeden önce $p_y = 0$ dir. Geçtikten sonra elektronun momentumunun y bileşeni $-p_y$ ile $+p_y$ arasında herhangi bir değeri alabilir. Şekle göre $\sin q = \frac{p_y}{p}$ elektronun y momentumundaki belirsizlik, $\Delta p_y = 2p_y = 2p \sin q$ olur.

Ayırma gücü ifadesi $\sin q = q = \frac{l}{\Delta y}$ (q çok küçük olduğundan $\sin q = q$) olarak alınabilir. Ayrıca $p = \frac{h}{l}$ olduğundan $\Delta p_y \Delta y = 2 \frac{h}{l} l = 2h \geq \frac{h}{2}$ sonucu bulunur. Bu sonuç Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi'ni desteklemektedir ve deneysel olarak gözlenmiş oluyor.

EK-6

ÜNİTELERE AİT ÇALIŞMA YAPRAKLARI

1) DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMI ÇALIŞMA YAPRAĞI

GRUP ADI:

GRUP ÜYELERİ: 1)

2)

3)

4)

A) TARTIŞMA SORULARI: Aşağıda verilen durumları grubunuzla tartışarak ortak bir noktada uzlaşın. (35 dakika)

1) Bir grup öğrenciye dalga paketi kavramına yönelik olarak şu soru yöneltilmiştir. “Mikroskobik bir parçacığa eşlik ettiğini düşündüğümüz dalga paketini tanımlayınız.” Öğrencilerin bu soruya yönelik verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir. Bu ifadelerin doğru olup olmadığını nedenleri ile birlikte açıklayınız.

- “Mikroskobik parçacığa eşlik eden dalganın matematiksel ifadesi $y=A\sin(kx - wt)$ dir. Parçacık sürekli ilerlediğinden, parçacığa eşlik eden dalganın da sürekli ilerlemesi gerekir. Bu dalga sinüzoidal bir dalgadır, sabit bir genliği ve frekansı vardır. Tüm uzaya yayılmıştır.”
- “Dalga paketi birçok parçacığa eşlik eden dalgaların oluşturduğu bir yapıdır. Dalga paketinin eşlik ettiği parçacık, dalga paketinin tepe ve çukur noktaları üzerinde dalga paketi ile birlikte ilerler.”
- “Dalga paketi birçok küçük elektromanyetik dalganın bir araya gelmesiyle oluşur. Dalga paketi elektromanyetik dalgadır çünkü mikroskobik parçacıklara etki eden dalgaları da elektromanyetik dalgaları da göremiyoruz.”

- “ Eğer mikroskobik paracak yüklü bir paracıkısa o parçacığa eşlik eden dalgalar elektromanyetik dalgadır; ykszse değildir.”
- “Elektrona eşlik eden dalga elektronla birlikte hareket eder. Elektronun hareketinden dolayı oluşur ve her yerdedir. Elektronun dalga şeklinde mi yoksa düz m ilerlediği konusunda kararsızım.”

b) Bu soru size yöneltilmiş olsaydı siz nasıl bir yanıt verirdiniz?

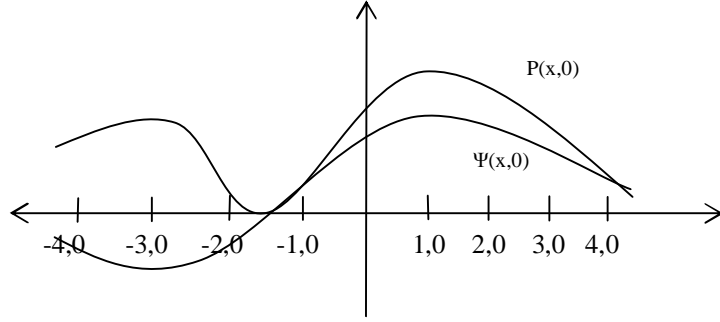
2) Kuantum fiziğinde mikroskobik parçacıkları temsil etmek için olasılık dalgaları kullanılır. Einstein bu dalgalar için “Hayalet dalgaları” ifadesini kullanmıştır. Heisenberg ise bu dalgalar için düşünce ile gerçekliğin ortasında yer aldığını ifade etmiştir. Bu ifadeleri göz önünde bulundurarak $y(x,t)$ dalga fonksiyonunun fiziksel anlamını açıklayınız. Klasik bir dalgayı göz önünde bulundurarak (su dalgası, yay dalgası vb) bu dalganın kuantum mekaniksel parçacıklar için tanımlı dalga fonksiyonu ile aralarındaki farklılıkları ifade ediniz.

3) Maddenin genel anlamda (makro ve mikro) yerinin belirlenmesi konusunda klasik ve kuantum mekaniksel açıdan ne gibi farklılıklar vardır, bu farklılıkların sebebi nedir? Kuantum ve klasik fizikte cisimlerin nerede olduğu nasıl tespit edilir? Tartışınız.

B) PROBLEM ÇÖZÜMÜ: Aşağıda verilen problemleri grubunuzla tartışarak ve çözümü tüm grup elemanlarının anlamasını sağlayarak zn. Problem çözümlerini size verilen problem çözme yapraklarında gösteriniz. (30 dakika)

Problem 1.

Aşağıdaki grafikte, normalize edilmiş bir dalga fonksiyonu ile dalga fonksiyonunun $t=0$ anında bir parçacık için tek boyutlu olasılık yoğunluğu grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız. şekilde $P(x,t)$ olasılık yoğunluğunu, $y(x,t)$ ise dalga fonksiyonunu ifade etmektedir.



- a) Bu dalga fonksiyonu fiziksel olarak kabul edilebilir bir fonksiyon mudur? Niçin?
- b) Parçacık en büyük olasılıkla nerede bulunabilir?
- c) Şekildeki $y(x,t)$ dalga fonksiyonu tek bir kuantum mekaniksel parçacığı mı temsil eder? Açıklayınız.
- d) Parçacığın herhangi aralıkta bulunma olasılığı nasıl bulunabilir?

Problem 2. Duyarlıklı bir uzunluk ölçer olan mikrometre ile bir cismin uzunluğu 8 kez ölçülmüştür ve tablodaki değerler elde edilmiştir. Bu değerlere göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

Ölçüm Sayısı	Uzunluk(m)
1	0,95
2	0,94
3	0,92
4	0,96
5	0,98
6	0,89
7	0,95
8	0,94

- a) Uzunluk frekans grafiğini çiziniz.
- b) Uzunluk ölçümlerinin ortalama değerini bulunuz
- c) Ortalama değer fiziksel anlamını yazınız.
- c) Uzunluk ölçümlerinin karesinin ortalama değerini bulunuz.
- d) Bu dağılım için standart sapmayı hesaplayınız.

- e) Standart sapmanın fiziksel anlamını yazınız.
- f) Kuantum mekaniğindeki ortalama değer ile bu sorudaki ortalama değer arasındaki farkı ifade ediniz.
- g) Kuantum fiziğindeki standart sapma kavramı ile bu sorudaki standart sapma kavramları arasındaki farkı ifade ediniz.

Problem 3.

Bir parçacığın $t=0$ anındaki hareketine eşlik eden dalga fonksiyonu aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir.

$$y(x,0) = \begin{cases} A \frac{x}{a} & 0 \leq x \leq a \\ A \frac{(b-x)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$$

- a) y dalga fonksiyonunu normalize ediniz.
- b) $y(x,0)$ dalga fonksiyonunun x bağımlı grafiğini çizin.
- c) $t=0$ anında parçacığın bulunma olasılığının en yüksek olduğu yer neresidir?
- d) Parçacığın a nın solunda bulunma olasılığı nedir? $b=a$ ve $b=2a$ için olasılık değerlerini bulunuz.
- e) x 'in beklenen değerini bulunuz.

**2) MOMENTUM KAVRAMI VE HEISENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ
ÇALIŞMA YAPRAĞI**

GRUP ADI:

GRUP ÜYELERİ: 1)

2)

3)

4)

A) TARTIŞMA SORULARI: Aşağıda verilen durumları gurubunuzla tartışarak ortak bir noktada uzlaşmanız sizden beklenmektedir. (35 dakika)

1) Eskiden bir filozof gerçekten mevcut bir bilim için aynı koşulların daima aynı sonuçları vermesi gerekir demiştir. Bu kesimde tartışılan konu da, bu cümlenin yanlış olduğunu gösteren bir argüman vardır. Bu cümleyi kabul edilir yapmak için yeniden kendi cümlelerinizle nasıl ifade edebilirsiniz?

2) Bir grup öğrenciye Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi ile ilgili olarak şu soru yöneltilmiştir. “ $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2}$ eşitsizliğinin fiziksel anlamını ifade ediniz.” Öğrencilerin bir kısmının verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir. Bu yanıtları tek tek irdeleyiniz. İfadeler doğru mudur? Nedenleri ile birlikte açıklayınız.

- “ Δx parçacığın ilk bulunduğu konum ile son bulunduğu konum arasındaki uzaklık, Δp_x ise bu iki noktada parçacığın sahip olduğu momentumları arasındaki farktır.”
- “ Δx parçacığın konumundaki değişimi ifade eder.”
- “ Δx mikroskobik bir parçacığın konum ve Δp_x mikroskobik parçacığın o konum değerlerinde iken sahip olduğu momentum değerleridir.”
- “ Δx mikroskobik parçacığın aldığı ortalama yoldur...”

- “ Δx ve Δp_x ölçümlerin standart sapma değerleridir. Ölçümler sonucu yapılabilecek hataları ifade ederler.”

3) Bir grup öğrenciye Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi ile ilgili olarak şu soru yöneltilmiştir. “Heisenberg’in Belirsizlik İlkesinin ne gibi bir fiziksel anlamı vardır? Açıklayınız.” Öğrencilerin verdikleri yanıtlardan bir kısmı aşağıdaki gibidir. Bu yanıtları tek tek irdeleyiniz. İfadeler doğru mudur? Nedenleri ile birlikte açıklayınız.

- “Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi” momentumun x bileşeni ile x konumunun aynı anda ölçülemeyeceği anlamına gelir. Sebebi teknolojik yetersizliktir. Teknolojik olarak yeterli düzeye ulaşabilirsek ölçebiliriz.”
- “Bir parçacığın konumu ile momentumu aynı anda kesin olarak belirlenemez. Bunun sebebi ölçü aletleridir. Bir ölçü aletinin aynı anda iki ölçüme odaklanamamasından kaynaklanır. Aynı anda mikroskobik bir parçacığın hem konumuna, hem de momentumuna odaklanabilen bir ölçü aleti geliştirilebilirse ölçmek mümkün olur.”
- “Ölçme işi sırasında ölçmek istediğimiz sistemin fiziksel durumunu değiştiriyoruz örneğin; bir suyun sıcaklığını ölçmek için derece soktuğumuzda, suyun sıcaklığını değiştirmiş oluyoruz. Ölçmek istediğimiz şeyi ölçemiyoruz.” Belirsizlik ilkesi budur.
- “Mikroskobik evrende bir parçacığın konumunu, momentumunu ya da enerjisini tam olarak ölçemeyiz. Bunun temel sebebi bu küçük parçacıkların hızlarının fazla olmasıdır. Parçacık çabuk yer değiştirdiğinden rahat gözlem yapılamaz.”

B) PROBLEM ÇÖZÜMÜ: Aşağıda verilen problemleri grubunuzla tartışarak ve çözümü tüm grup elemanlarının anlamasını sağlayarak çözün. (30 dakika)

Problem 1. Öyle bir dünya hayal ediniz ki bu dünyada planck sabiti $h = 1 \text{ j.s}$ olsun. Bu dünyada yaşamının ne gibi zorlukları olabilir, $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2}$ eşitsizliğinden yararlanarak açıklayınız.

Problem 2. $\psi(x,t)$ dalga fonksiyonu ile ifade edilen kuantum mekaniksel bir parçacık için aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

- Parçacığın bulunma olasılığı yoğunluğunu tanımlayınız.
- Parçacığın konumunun beklenen değerini nasıl bulabiliriz? Beklenen değer fiziksel anlamı nedir?
- Parçacığın konumundaki belirsizliği nasıl hesaplayabiliriz? Konumdaki belirsizliğin fiziksel anlamı nedir?
- Parçacığın momentumundaki belirsizliği nasıl hesaplayabiliriz? Momentumundaki belirsizliğin fiziksel anlamı nedir?

Problem 3. Gauss dağılımına uygun $P(x) = A e^{-I(x-a)^2}$ olasılık yoğunluğu fonksiyonu ile ifade edilen bir mikroskobik parçacık için aşağıdaki soruları yanıtlayınız. (Burada a ve I birer parametredir, sorunun çözümü için gerekli olan integraller aşağıda verilmiştir.)

- A sabitini bulunuz.
- $\langle x \rangle$, $\langle x^2 \rangle$ ve (Δx) ifadelerini bulunuz. Bulduğunuz sonuçları yorumlayınız.
- $\psi(x)$ fonksiyonunun x bağlı grafiğini çizin.
- Parçacığın momentumundaki belirsizliği bulunuz.

$$\left[\left(\int_{-\infty}^{\infty} e^{-1u^2} du = \sqrt{\frac{p}{l}} \right) \left(\int_{-\infty}^{\infty} ue^{-1u^2} du = 0 \right) \left(\int_{-\infty}^{\infty} u^2 e^{-1u^2} du = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{p}{l}} \right) \right]$$

3) BELİRSİZLİK İLKESİ UYGULAMALARI ÇALIŞMA YAPRAĞI

GRUP ADI:

GRUP ÜYELERİ: 1)

2)

3)

4)

A) TARTIŞMA SORULARI: Aşağıda verilen durumları grubunuzla tartışarak ortak bir noktada uzlaşın. (35 dakika)

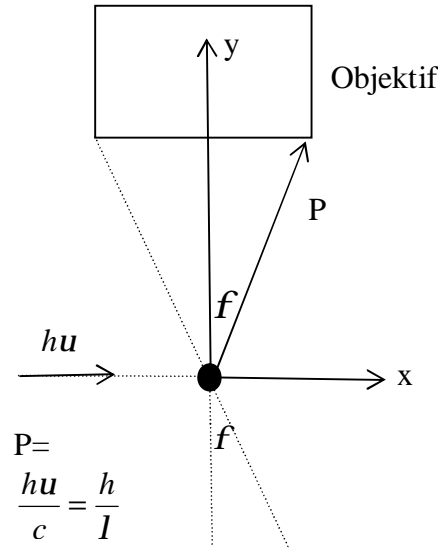
1) Dalga boyu $\lambda = 620 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ olan kırmızı ışıkla tek yarıқта kırınım deneyi gerçekleştiriliyor. Fant aralığı ayarlanabilen düzenekte aşağıdaki fant aralıkları için ekranda nasıl bir görüntü elde edilebileceğini belirsizlik ilkesini kullanarak tartışınız ve ekrandaki görüntünün (kırınım deseninin) genişliğini hesaplayınız. (Kaynakla fant arasındaki uzaklık ve ekranla fant arasındaki uzaklık $L = 500 \cdot 10^{-8} \text{ m}$)

a) $\Delta y = 620 \cdot 10^{-8} \text{ m}$

b) $\Delta y = 62 \cdot 10^{-8} \text{ m}$

c) $\Delta y = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}$

2) Bir elektronun konumunun ölçülmesi deneyi belirsizlik ilkesini anlamak üzere, Heisenberg tarafından ortaya konulan bir düşünce deneyidir. Bu deneye göre aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi güçlü bir ışık mikroskobu yardımıyla bir elektronun yeri belirlenmeye çalışılmaktadır. Görüntülenmek istenen elektronun üzerine bir ışık demeti düşürülür. Kaynaktan çıkan fotonlar elektronla çarpışarak mikroskobun objektifine gelir ve böylece görüntü elde edilir. Aşağıdaki şekli kullanarak bu olay sırasında Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin geçerli olduğunu gerekli işlemleri yaparak gösteriniz.

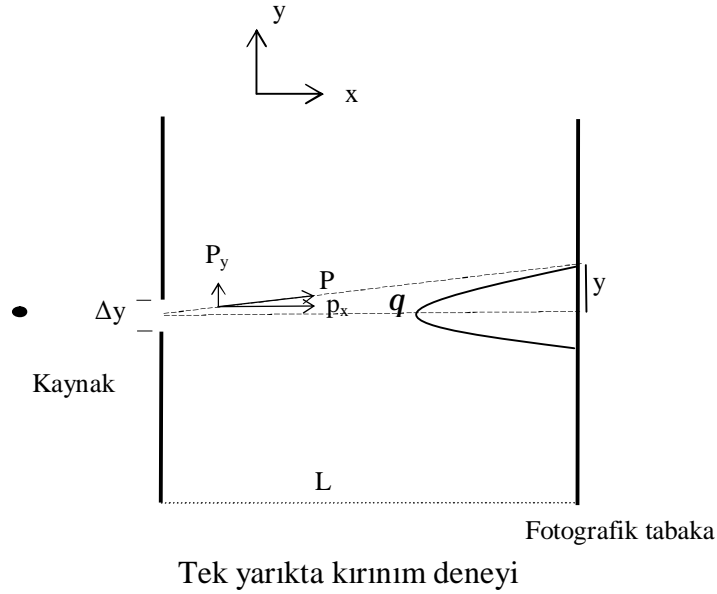


3) Bir grup öğrenciye şu soru yöneltilmiş Heisenberg'in belirsizlik ilkesi makro evrende uygulanabilir mi? Aşağıda öğrencilerin bu soruya yönelik yanıtları yer almaktadır.

- “Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi makroskobik evrende uygulanamaz çünkü makroskobik evrende ölçüm alması daha kolaydır. Mikroskobik evrende ölçüm yapmak zordur.”
- “Heisenberg’in Belirsizlik İlkesi makroskobik evrende uygulanamaz. Mikroskobik evrende parçacıklar çok hızlı hareket ettiğinden mikroskobik parçacıklar ölçülemiyor fakat makroskobik evrende böyle hızlı hareket eden bir şey yok...”

Sizce bu ifadeler doğru mudur? İrdeleyiniz.

B) PROBLEM ÇÖZÜMÜ: Aşağıda verilen problemleri grubunuzla tartışarak ve çözümü tüm grup elemanlarının anlamasını sağlayarak çözün. Problem çözümlerini size verilen problem çözme yapırlarında gösteriniz. (30 dakika)



Yukarıdaki şekil tek yarıktaki kırınım deney düzeniğidir. Yarık genişliğı Δy , yarıktan geçen parçacıkların çarparak üzerinde iz bıraktığı ekran ile yarık arası uzaklık L ile verilir. Buna göre aşağıdaki problemleri yanıtlayınız.

Problem 1. İstenilen zamanda bir top (klasik bir parçacık) fırlatabilen bir kaynak, yarıktan belirli bir uzaklığa konuluyor. x doğrultusunda hareket eden toplar yarık aralığından geçtikten sonra nereye çarptığı bir detektör yardımıyla kaydediliyor. Yarıktan ekrana topun ulaşma süresi hesaplanabiliyor. (Yarıkla ekran arasında parçacıklara hiçbir kuvvet etki etmiyor ve topun çapı yarık genişliğinden oldukça küçüktür.)

a) Özdeş topları aynı koşullarda fırlatıp ekrana çarpmalarını sağlarsak, ekranda nasıl bir desen oluşur? Şeklini çiziniz.

b) Özdeş topların konumundaki Δy ve momentumundaki Δp_y belirsizlik nasıl bulunur? Δp_y belirsizliği nasıl azaltılabilir?

c) Δy (yarık genişliği) küçültülüp aynı deneyi tekrarlırsak Δp_y deki değişim nasıl olur? Heisenberg'in Belirsizlik ilkesinin bu durum için, geçerli olup olmadığını açıklayınız.

e) Özdeş topların Δy konum ve Δp_y momentum belirsizliklerinin kaynağı nedir?

Problem 2. Aynı deney elektronlarla yarık genişliği de Broglie dalga boyuna göre çok büyük olduğu durum için gerçekleştirilirse; ekranda nasıl bir desen oluşur? Şeklini çiziniz.

Problem 3. Yukarıdaki deney elektronlarla ve yarık genişliği daraltılarak elektronların de Broglie dalga boyu ile kıyaslanabilecek seviyeye getirilebilirse;

a) Ekranda oluşan desen, elektronların yarık genişliğinin de Broglie dalga boyuna kıyasla çok büyük olduğu durumdaki desene göre nasıl değişir?

b) (Δy) Yarık genişliği daraltıldıkça, ekrandaki desen ve elektronların momentumundaki belirsizlik nasıl değişir? Heisenberg Belirsizlik İlkesini göz önünde bulundurarak açıklayınız.

c) Ayırma gücü $\sin q = \frac{l}{\Delta y}$, q girişim deseninde ilk minimumun meydana

geldiği açı, $P = \frac{h}{l}$ kuantum mekaniksel parçacıklar için momentum değeri olmak üzere

Belirsizlik İlkesinin geçerli olduğunu gösteriniz.

EK-7

ÜNİTELERE AİT EV ÖDEVİ PROBLEMLERİ

1) DALGA FONKSİYONU VE OLASILIK KAVRAMLARI EV ÖDEVİ PROBLEMLERİ

A) PROBLEMLER

Problem 1. Bir mikroskobik parçacığa eşlik eden dalgaların taşınması gereken özellikleri göz önünde bulundurarak aşağıda verilen fonksiyonlardan hangilerinin $[-\infty, \infty]$ aralığında mikroskobik bir parçacığın hareketini tanımlayan dalga fonksiyonu olabileceğini açıklayarak yazınız. (Burada k dalga sayısını ve a uzunluğu göstermektedir.)

$$\text{I- } y(x) = \frac{1}{2x-1} e^{ikx}$$

$$\text{II- } y(x) = e^{-2x} \sin kx$$

$$\text{III- } y(x) = |x|(\cos kx - i \sin kx)$$

$$\text{IV- } y(x) = \frac{2x^2 - 1}{x}$$

$$\text{V- } y(x) = \frac{2}{\sqrt{x^2 + 2a^2}} e^{ikx}$$

Problem 2. $-L \leq x \leq L$ uzayı içinde bulunan bir parçacık aşağıdaki dalga fonksiyonlarından biriyle temsil edilebilir:

$$y_1 = A \cos\left(\frac{px}{L}\right) \quad \text{veya} \quad y_2 = B \sin\left(\frac{px}{L}\right)$$

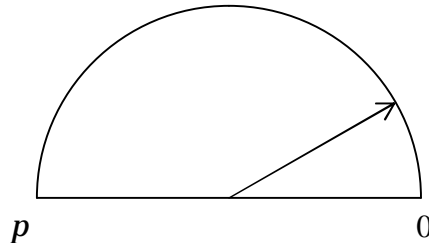
Her iki durum için normalizasyon koşulunu kullanarak A ve B yi bulunuz.

Problem 3. Kuantum mekaniksel bir parçacık için aşağıdaki dalga fonksiyonu verilmiştir.

$$y(x) = \begin{cases} A \cos\left(\frac{2px}{L}\right) & -\frac{L}{4} \leq x \leq \frac{L}{4} \\ 0 & x \text{'in diğ}er değerleri için \end{cases}$$

Eğer kuantum mekaniksel parçacığın konumunu belirlemek için bir lim yapılsa, parçacığın $x=0$ ve $x=\frac{L}{8}$ arasında toplam bulunma olasılığı ne olur?

Problem 4.



Yandaki Şekil, ibresi 0 ile p radyan arasında her yerde eşit olasılıkla bulunabilen bir metronomu temsil etmektedir. Buna gore aşağıdaki soruları yanıtlayınız

a) Bir radyanlık açı aralığında bulunma olasılığını ifade eden olasılık yoğunluğu $P(q)$ nedir? [$P(q)dq$ ibrenin q ile $q+dq$ arasında bulunma olasılığını ifade eder.]

$P(q)$ 'nin $-\frac{p}{2}$ ile $\frac{3p}{2}$ aralığında q 'ya bağlı grafiğini çiziniz.

b) $\langle q \rangle, \langle q^2 \rangle$ ortalama değerlerini ve s standart sapmasını hesaplayınız.

c) Bulduğunuz standart sapma ve ortalama değerin ne anlama geldiğini yorumlayınız. Kuantum fiziğindeki ortalama değer ve belirsizlik kavramları ile arasındaki fark ve benzerlikleri belirleyiniz.

Problem 5. Problem 4. teki metronom ibresinin yatay konumdaki izdüşümünü dűŐinerek aŐaęıdaki soruları yanıtlayınız. İpucu: $x = r \cos q$ dönüşümü uygulanacak, ibre ve alacağı yolu gösteren bir Őekil çizmek çözümü kolaylaŐtırabilir. [Gerekli integral aŐaęıda verilmiŐtir.]

a) Olasılık yoğunluğu $P(x)$ 'si hesaplayınız. [$P(x)dx$ ibrenin x ile $x+dx$ arasında bulunma olasılığını ifade eder.] $P(x)$ 'sin $-2r$ ve $+2r$ aralığında x 'e bağlı grafiğini çiziniz.(Burada r ibrenin uzunluğunu ifade ediyor.)

b) $\langle x \rangle, \langle x^2 \rangle$ ortalama değerlerini ve S standart sapmasını hesaplayınız.

$$\left(\int_0^r \frac{x^2}{\sqrt{r^2 - x^2}} dx = \left[-\frac{p}{2} \sqrt{r^2 - x^2} + \frac{r^2}{2} \sin^{-1} \left(\frac{x}{r} \right) \right]_0^r \right)$$

B) PROBLEM OLUŞTURMA:

Mikroskopik parçacıklara eşlik eden dalga fonksiyonunun taşıması gereken özellikleri göz önünde bulundurarak bir dalga fonksiyonu tanımlayınız. Bu dalga fonksiyonun temsil ettiği parçacığı normalize ediniz, parçacığın konum ve momentumunun beklenen değerini ve standart sapmasını hesaplayınız.(Çözümlerinizi problem çözüme yaprağı üzerinde gösteriniz.)

2) MOMENTUM KAVRAMI VE HEİSENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ EV ÖDEVİ PROBLEMLERİ

A. PROBLEMLER

Problem 1. Belirsizlik ilkesinin en genel bağıntısı olan $\Delta a \Delta b \geq \left(\left\langle y, \frac{\hat{C}}{2} y \right\rangle \right)$ bağıntısının

fiziksel anlamını ifade ediniz ve bu denklemden kuantum mekaniksel bir parçacık için x doğrultusundaki konum ve parçacığın x doğrultusundaki momentumu için belirsizliğin

$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ olduğunu gösteriniz.

b) Bu parçacığın x doğrultusundaki konumu ile y doğrultusundaki momentumu aynı deneyde eş duyarlılıkta ölçülebilir mi?

Problem 2. Kuantum mekaniksel bir bağlı parçacık için toplam enerji operatörü

$\hat{E} = -\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t}$ ve momentum operatörü $\hat{P}_x = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ ifadeleri ile verilmektedir. Bu

parçacığın toplam enerjisi ile momentumunun eş zamanlı olarak istenilen duyarlılıkta ölçülüp ölçülemeyeceğini belirleyiniz. Sonucu yorumlayınız.

Problem 3. Heisenberg belirsizlik ilkesini kullanarak r_0 yarıçaplı küresel bir potansiyel çukurundaki bir elektron için aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

a) Elektronun minimum enerjisinin $E_{\min} = \frac{\hbar^2}{8m_0 r_0^2}$ olduğunu gösteriniz.

b) $r_0 = 4 \times 10^{-10}$ m için elektronun enerjisini eV olarak hesaplayınız.

c) b şıkında bulduğunuz sonucu klasik ve kuantum mekanik açısından yorumlayınız.

($\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34}$ js , $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, $r_0 = 4 \cdot 10^{-10}$ m , $1eV = 1,6 \cdot 10^{-19}$ j)

Problem 4. x eksenini boyunca $-a$ ile $+a$ aralığında tanımlı $y(x,t) = Ae^{ikx}(a^2 - x^2)$ dalga fonksiyonu mikroskobik parçacık için tanımlanmıştır. Aşağıdaki soruları yanıtlayınız. (Burada A , a birer sabiti ifade etmektedir.)

- a) A sabitinin değerini bulunuz.
- b) Parçacığın konumunun beklenen değerini bulunuz. Fiziksel anlamını ifade ediniz.
- c) Momentumun beklenen değerini bulunuz.
- d) Parçacığın konumunun ölçülmesindeki belirsizliği bulunuz. Fiziksel anlamını ifade ediniz.
- e) Parçacığın momentumunun ölçülmesindeki belirsizliği bulunuz. Fiziksel anlamını ifade ediniz.
- f) Bu parçacık için Heisenberg'in belirsizlik ilkesinin geçerli olduğunu gösteriniz.

Problem 5. $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ bağıntısından yola çıkarak enerji ile zaman arasında da konum ile momentum arasındaki belirsizliğe benzer bir belirsizlik olduğunu gösteriniz. $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ zamanla enerji arasındaki belirsizliğin fiziksel anlamını irdeleyiniz. Bu belirsizlikten yola çıkarak başka hangi fiziksel büyüklüklerin ölçülmesinde belirsizlikle karşılaşılabilir. İrdeleyiniz.

B) PROBLEM OLUŞTURMA:

Planck sabitinin $h=1j.s$ olduğu bir dünya ile $h=1,05410^{-34}$ olduğu durum arasındaki farkı ortaya koyabilecek klasik ve kuantum mekaniksel bir parçacık tanımlayarak bir soru tasarlayınız.

3) HEİSENBERG'İN BELİRSİZLİK İLKESİ UYGULAMALARI EV ÖDEVİ PROBLEMLERİ

A) PROBLEMLER

Problem 1. Kütlesi $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ olan elektron, genişliği $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ olan bir yarıktan geçiyor. Bu parçacığın momentumundaki minimum belirsizliği bulunuz?

b) Parçacığın hızındaki belirsizliği bulunuz.

Problem 2. Kütlesi $50 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ olan bir mermi ile kütlesi $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ olan elektronun hızları eşit ve 300 m/s olarak $\%0,01$ 'lik bir belirsizlikle ölçülüyor. Aynı deneyde özdeş elektron ve mermilerin hızlarını ve konumlarını aynı anda ölçmek isteseydik, konumlarını belirlemedeki belirsizlik ne olurdu? Sonucu yorumlayınız.

Problem 3. Kuantum mekaniksel bir ördeğin $h = 2p$ js olan bir dünyada yaşadığını varsayınız. Bu ördeğin $2,0 \text{ kg}$ lık bir kütleye sahip olduğu ve başlangıçta $1,0 \text{ m}$ genişlikte bir bölge içinde bulunduğu biliniyor.

a) Hızındaki minimum belirsizlik nedir?

b) Hızındaki bu belirsizliğin $5,0 \text{ s}$ sürdüğünü varsayarak bu kadar zaman sonra konumundaki belirsizliği bulunuz.

Problem 4. Elektron mikroskobu ile bir elektronun konumu ve momentumu belirlenmek isteniyor. Elektronun konumundaki belirsizliği azaltmak için ne yapmak gerekir? Bu durumda elektronun momentumu nasıl değişir? Gerekli bağıntı ve şekilleri kullanarak açıklayınız.

Problem 5. Bir elektronun konumunun ölçülmesinde karşılaşılan belirsizlik ile ilgili olarak aşağıda yer alan ifadelerden hangisi yada hangileri doğrudur? Nedenleri ile birlikte açıklayınız.

I) Bir elektronun konumu bir mikroskop yardımı ile deneysel olarak ölçülmek isteniyorsa, elektronun üzerine ışık düşürülmek zorundadır.

III- Bir elektronun yerini tespit etmek için kullanılan ışığın frekansı arttırılırsa, elektronun momentumundaki belirsizlik azalırken, konumundaki belirsizlik artar.

IV- Bir mikroskop yardımı ile elektronun yerini tespit etmede kullanılan ışık yüksek enerjili olursa konumunu daha duyarlı ölçebiliriz.

V- Elektronun, elektron mikroskobundaki görüntüsü bir nokta şeklindedir.

VI- Bir mikroskopta elektronun momentumundaki belirsizlik elektronun yerini belirlemek için kullanılan fotonun momentumundaki belirsizliğe her zaman eşittir.

B) PROBLEM OLUŞTURMA: Heisenberg'in Belirsizlik İlkesinin klasik parçacıklar için anlamlı olmayıp yalnızca kuantum mekaniksel parçacıklar için anlamlı olduğunu ortaya koyacak bir soru tasarlayıp çözümünü yapınız.