

Uygulamalı Kuantum Sensörler ve Kuantum Teknolojileri

Ders kredisi: 6 (ECTS)

Ders koordinatörü: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cengiz Onbaşı, Koç Üniversitesi, Fizik ve EE

Dönem: 2022-2023 Sonbahar dönemi

Ders saatleri: haftalık 3 saat çevrimiçi dersler (Salı, Perşembe 14:30-16:00)

Ders kitapları:

- 1) Ivan B. Djordjevic, *Quantum Communication, Quantum Networks and Quantum Sensing*, Academic Press, San Diego, USA, 2022
- 2) Isaac Chuang and Michael Nielsen. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, USA, 2011.

Dersin zorunlu okumaları:

- 1) C. L. Degen, F. Reinhard, P. Cappellaro, "Quantum sensing," *Rev. Mod. Phys.* **89** (3), 035002 (2017).
- 2) S. E. Crawford, et al., "Quantum Sensing for Energy Applications: Review and Perspective," *Adv. Quantum Technol.* **4**, 2100049 (2021).
- 3) G. Petrini, et al., *Adv. Quantum Technol.* **3**, 2000066 (2020).
- 4) Marco Barbieri, "Optical Quantum Metrology," *PRX Quantum* **3**, 010202 (2022).
- 5) S. Pirandola, et al., "Advanced in photonic quantum sensing," *Nat. Photon.* **12**, 724-733 (2018).
- 6) S. Zhou, et al., "Achieving the Heisenberg limit in quantum metrology using quantum error correction," *Nat. Commun.* **9**:78 (2018).

Katalog açıklaması:

Lineer cebir, diferansiyel denklemler, kuantum mekaniği, operatörler ve spinlerin işlenmesi. Klasik ve mikroelektronik sensör kavramları. Sinyal. Gürültü. Hassasiyet. Gürültü türleri. Ölçüm hataları. Örnekleme. Analog-dijital dönüşümü. Modern sensör kavramları ve okuma elektroniği. Sonlu kuantum durumları, süperpozisyon ve dolanıklık. Kuantum ölçüm protokolleri (Ramsey, eko ve çoklu darbe) ve fiziksel uygulama örnekleri. Manyetik alan, elektrik alan, dönme, sıcaklık ve biyoloji için kuantum sensörler. Gürültü spektroskopisi, dinamik aralık ve adaptif örnekleme, toplu algılama ve yedek kübit sensörleri. Kuantum dolanık durumları kullanarak standart kuantum limitin ötesine geçebilen ve temel termodinamik limitlere veya Heisenberg belirsizlik ilkesine yaklaşan veya ulaşan örnek sensörler (GHZ, N00N, sıkıştırılmış durumlar, W ve diğer türler). Kuantum sensör tasarımı, analiz makalesi ve sunumu.

Önkoşul(lar): Bulunmamaktadır.

(Önceden kuantum mekaniği, operatörler ve enstrümantasyon bilgisi edinmek faydalı olabilir.)

(4. sınıf lisans, yüksek lisans ve doktora öğrencilerinin bu dersi alması beklenmektedir.)

Değerlendirme yöntemleri:

	Tür	Adet	Toplam katkı (%)
1	Ödev: Problem set/yazılı	5	50
2	Dönem sınavı: Sınav/yazılı	1	25
3	Final: Sınav/yazılı ve sunum/sözlü	1	25

Final sınavına girebilmek için gerekli asgari koşul:

Toplam 5 ödevin en az 3'ünün tamamlanması final sınavına girebilmek için önkoşuldur.

Ders Öğrenme Hedefleri:

Ders Öğrenme Çıktısı	Değerlendirme Yöntemi
<p>Dersin sonunda öğrenciler şunları yapabilmelidir:</p> <ul style="list-style-type: none">• Lineer cebir, diferansiyel denklemler, Schrödinger'in denklemi, operatör hesapları ve spinlerle işlem yapabilmelidirler.• Sinyal, gürültü, hassasiyet, gürültü tipleri, ölçüm belirsizliği, örnekleme, analog-dijital dönüşümü da dâhil olmak üzere klasik sensör kavramlarını anlayıp uygulayabilmelidirler.• Herhangi bir elektronik sensörün karakteristiklerini veri dosyasından anlayabilmelidirler. Modern sensör kavramlarını, örneğin adaptif örnekleme, okuma elektroniği ve yeni malzemeleri anlayabilmelidirler.• Kuantum sensörlerin klasik (mikroelektronik) sensörlere göre farklılıklarını sonlu kuantum durumlarına, süperpozisyon ve dolanıklık etkilerine atıfta bulunarak açıklayabilmelidirler.• Kuantum durumların dayanıklılık sürelerini ve stabiliteyi ölçmek için kullanılan standart kuantum ölçüm protokollerini açıklayabilmelidirler (Ramsey, Hahn eko ve çoklu darbe).• Süperiletken, tuzaklanmış iyon, silisyum kuantum noktacık, elmas azot merkezleri (NV) ve diğer deneysel kuantum sistemler için fiziksel uygulama düzeneklerini tasarlayabilmelidirler.• Manyetik alan, elektrik alan, dönme, sıcaklık ve biyolojik ajanların (virüs, DNA zinciri, protein vb.) ölçülebilmesi için kullanılacak kuantum sensörlerin çalışma prensiplerini açıklayabilmelidirler.	<p>Ödev: Problem set/yazılı Dönem sınavı: Sınav/yazılı Final: Sınav/yazılı ve sunum/sözlü</p>

<ul style="list-style-type: none">• Kuantum sensör karakteristiklerini sayısal olarak hesaplayabilmelidirler (gürültü limiti, dinamik aralık, sinyal-gürültü oranı) ve diğer kuantum sensörlerle karşılaştırabilmelidirler.• Gürültü spektroskopisi, adaptif örnekleme ve toplu algılama ile ileri kuantum sensör mekanizmalarını önerebilmeli ve analiz edebilmelidirler.• Yardımcı kubitlerin kuantum sensörlerde nasıl faydalı olabileceğini açıklayabilmelidirler (kuantum durumların dayanım süresini uzatma, kuantum bellek işlevi ve kuantum hata düzeltmeye imkân tanımları).• Sensörlerde standart kuantum limiti tanımlayıp açıklayabilmelidirler.• Özel kuantum dolanık durumları (GHZ, N00N, sıkıştırılmış durumlar, W ve diğer türler) tanımlayabilmeli ve deneysel olarak nasıl hazırlanabileceklerini açıklayabilmelidirler.• Standart dolanık kuantum durumları (GHZ, N00N, sıkıştırılmış durumlar, W ve diğer türler) ile standart kuantum limitin nasıl aşılabileceğini analiz edip açıklayabilmelidirler.• Kuantum sensör tasarlayabilmeli, yapıları ve çalışma prensiplerini açıklayabilmeli, bu sensörü diğer sensörlerle karşılaştırarak geliştirme yollarını analiz edebilmelidirler.• Yazılı makale hazırlayabilmeli ve sözlü sunum yapabilmelidirler.	
---	--

Haftalık İzlenec:

1. Lineer cebir, diferansiyel denklemler, Schrödinger'in denklemi, operatör hesapları ve spinlerle işlemler
2. Sinyal, gürültü, hassasiyet, gürültü tipleri, ölçüm belirsizliği, örnekleme, analog-dijital dönüşümü da dâhil olmak üzere klasik sensör kavramları
3. Herhangi bir elektronik sensörün karakteristiklerinin veri dosyasından analiz edilmesi, modern sensör kavramları (örn. adaptif örnekleme, okuma elektroniği ve yeni malzemeler).
4. Kuantum sensörlerin klasik (mikroelektronik) sensörlere göre farklılıklarını sonlu kuantum durumlarına, süperpozisyon ve dolanıklık etkilerine atıfta bulunarak açıklanması
5. Kuantum durumlarının dayanıklılık sürelerini ve stabiliteleri ölçmek için kullanılan standart kuantum ölçüm protokolleri (Ramsey, Hahn eko ve çoklu darbe)

6. Süperiletken, tuzaklanmış iyon, silisyum kuantum noktacık, elmas azot merkezleri (NV) ve diğer deneysel kuantum sistemler için fiziksel uygulama düzeneklerinin tasarımı
7. Manyetik alan, elektrik alan, dönme, sıcaklık ve biyolojik ajanların (virüs, DNA zinciri, protein vb.) ölçülebilmesi için kullanılabilecek kuantum sensörlerin çalışma prensipleri
8. Kuantum sensör karakteristiklerinin sayısal olarak hesaplanmaları (gürültü limiti, dinamik aralık, sinyal-gürültü oranı) ve diğer kuantum sensörlerle karşılaştırmaları
9. Gürültü spektroskopisi, adaptif örnekleme ve toplu algılama ile ileri kuantum sensör mekanizmalarının örnekleri ve analizi
10. Yardımcı kubitlerin kuantum sensörlerdeki işlevleri (kuantum durumların dayanım süresini uzatmaları, kuantum bellek işlevi, kuantum hata düzeltme)
11. Sensörlerde standart kuantum limit
12. Özel kuantum dolanık durumlarının tanımları (GHZ, N00N, sıkıştırılmış durumlar, W ve diğer türler) ve deneysel uygulamaları
13. Kuantum sensör tasarımı örnekleri (yapıları, çalışma prensipleri, diğer sensörlerle karşılaştırılmaları ve geliştirme yollarının analizi)
14. Yazılı makale sunumları ve sözlü sunumlar

ECTS – Ders yükü tablosu:

Aktiviteler	Adet	Saat	Toplam yük
Ders saati	14	3	42
Bireysel veya grup çalışması	14	4	56
Ödev	5	6	30
Dönem sınavı	1	2	4
Dönem sınavına hazırlık	2	15	30
Final sınavı	1	2	2
Final sınavına hazırlık	1	15	15
Toplam ders yükü:			179
Toplam ders yükü / 30:			179 / 30
			5.97
Dersin toplam ECTS kredisi:			6