



DERS BİLGİ FORMU

FAKÜLTE / ENSTİTÜ ADI	Fen Edebiyat Fakültesi
BÖLÜM / PROGRAM / ANABİLİM DALI ADI	Fizik Bölümü
DERSİN ADI	Hadron Çarpıştırıcılarında DeneySEL Fizik
DERSİN KODU	FIZ1115
YEREL KREDİSİ	3
AKTS KREDİSİ	5
HAFTALIK DERS SAATİ	3
HAFTALIK UYGULAMA SAATİ	0
HAFTALIK LABORATUVAR SAATİ	0
ÖNKOŞULLAR	Yok
YARIYIL	Güz, Bahar
DERSİN DİLİ	Türkçe, İngilizce
DERSİN SEVİYESİ	Lisans
DERSİN TÜRÜ	Seçmeli @ Fizik Lisans Programı
DERSİN KATEGORİSİ	Uzmanlık Alan Dersleri
DERSİN VERİLİŞ ŞEKLİ	Yüz Yüze
DERSİ SUNAN AKADEMİK BİRİM	Fizik Bölümü
DERSİN KOORDİNATÖRÜ	Ayben KARASU UYSAL
ASİSTAN(LAR)	
DERSİN AMACI	Bu dersin amacı, öğrencilere parçacık fiziğinin temel konseptlerini, hadron çarpıştırıcılarının işleyişini ve bu çarpıştırıcılarda gerçekleşen deneysel çalışmaların temel prensiplerini öğretmektir. Öğrencilere parçacık hızlandırıcıları, dedektör sistemleri, hadronlar, renk kuvveti gibi konularda geniş bir anlayış kazandırarak, hadron çarpışmalarında elde edilen verilerin analizi ve yorumlanması becerilerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Aynı zamanda, hadron çarpıştırıcılarının uygulamalarını da inceleyerek öğrencilere bu alanlarda gelecekteki potansiyel uygulamalar hakkında bilgi sağlamayı amaçlamaktadır.
DERSİN İÇERİĞİ	Parçacık fiziğine giriş ve temel kavramlar; hadron çarpıştırıcılarına genel giriş; önemli deneyler ve dedektörler; dedektör sistemleri ve etkileşim senaryoları; hızlandırıcı teknolojileri; kuark modeli ve hadronlar; renk yükü ve renk kuvveti; elektro-zayıf kuram ve bozunumlar; toplu parçacık analizi; hadron çarpıştırıcıları ve astrofizik; yüksek enerji hadron fiziği; parçacık hızlandırıcılarındaki teknolojik gelişmeler; Kuantum Renk Dinamiği (QCD); Yukawa etkileşimi ve Higgs bozonu; hadron fiziğinde yeni yöntemler ve araştırma alanları.
DERS KİTABI / MALZEMESİ / ÖNERİLEN KAYNAKLAR	Ders Kitabı: [1] Wong, Cheuk-Yin. <i>Introduction to High-Energy Heavy-Ion Collisions</i> . 1. baskı, Cambridge University Press, 2010. Zorunlu Kaynaklar: [1] Close, Frank. <i>Particle Physics: A Very Short Introduction</i> . 1. baskı, Oxford University Press, 2004. [2] Halzen, Francis, and Alan D. Martin. <i>Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics</i> . 1. baskı, Wiley, 1984. Önerilen Kaynaklar: [1] Halpern, Paul. <i>Collider: The Search for the World's Smallest Particles</i> . 1. baskı, Wiley, 2009.
Ders Öğrenim Çıktıları	Bu dersi başarıyla tamamlayan öğrenciler,



1. Hadron çarpıştırıcılarında gerçekleşen deneysel çalışmaların temelinde yatan parçacık fiziği konseptlerini ifade edebileceklerdir.
2. Hadron çarpıştırıcılarında kullanılan dedektör sistemlerini ve veri analizi tekniklerini kullanabileceklerdir.
3. Hadron çarpıştırıcılarının teknik işleyişi, parçacık hızlandırıcıları ve önemli dedektör sistemlerini açıklayabileceklerdir.
4. Hadron çarpıştırıcılarından elde edilen verilerin medikal ve endüstriyel uygulamalara entegrasyonunu açıklayabileceklerdir.
5. Hadron çarpıştırıcılarından elde edilen deneysel verileri kullanarak karmaşık problemlerin çözümünde bilimsel analiz ve değerlendirme yöntemlerini uygulayabileceklerdir.

DEĞERLENDİRME SİSTEMİ

Etkinlikler	Sayı	Katkı Payı
Devam/Katılım		
Laboratuvar:		
Uygulama (Sözlü Sınav):		
Arazi Çalışması		
Derse Özgü Staj		
Kısa Sınavlar/Stüdyo Kritiği: • İçerik: Sınav haftasına kadar işlenen konuların tümünü kapsayan kapsamlı soruların sorulması • Format: Yüz yüze. Çoktan seçmeli kısa sınav (5-10 dakika) • Detaylı Değerlendirme Kriterleri: -Derste işlenen teorik konular ile ilgili problemleri çözebilme	6	-
Ödev:		
Sunum/Jüri: • İçerik: Öğrencilerin kendi öğrenme süreçlerini değerlendirmelerinin ve sunum yapmalarının istenmesi • Format: Öğrenci sunumları • Detaylı Değerlendirme Kriterleri: -Öğrenilen konuların doğru bir şekilde açıklanabilmesi -Sunum tekniklerinin doğru kullanılması	1	%30
Proje:		
Seminer/Workshop		
Ara Sınavlar: • İçerik: Sınav haftasına kadar işlenen konuların tümünü kapsayan kapsamlı sorular • Format: Yüz yüze. Sınav (90 dakika) • Detaylı Değerlendirme Kriterleri: -Dersin temel kavramlarının anlaşılmasının gösterilmesi -Teorik konularla ilgili problemlerin çözülebilmesi -Teorik düşünme süreçlerinin yürütülmesi	1	%30



Final: • İçerik: Dersin tüm içeriğini kapsayan kapsamlı sorular • Format: Yüz yüze. Sınav (90 dakika) • Detaylı Değerlendirme Kriterleri: -Derste işlenen tüm konuların derinlemesine kavranmış olduğunun gösterilmesi -İleri düzey problem çözme becerilerinin kullanılabilmesi		1	%40
Dönem İçi Çalışmaların Başarı Notuna Katkısı			%60
Final Sınavının Başarı Notuna Katkısı			%40
TOPLAM			%100
HAFTALIK KONULAR VE İLGİLİ ÖN HAZIRLIK ÇALIŞMALARI			
HAFTALAR	KONULAR	Ön Hazırlık	
1	Konu Anlatımı: Giriş ve Parçacık Fiziği Temelleri. Parçacık fiziği temel kavramları. Hadron çarpıştırıcılarına genel giriş. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Temel parçacık türleri (lepton, kuark, bozon) ve bunların temel özelliklerine ilişkin kısa tanıtlar yapıldıktan sonra, yük, spin ve kütle bakımından karşılaştırmalı örnekleme yaptırılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Parçacık fiziğinin temel kavramlarının, doğa yasalarının anlaşılmasındaki rolü üzerine kısa bir tartışma yapılması.	1. Parçacık fiziğinin tarihsel gelişimi, temel parçacık türleri ve etkileşimlerin sınıflandırılması konularına yönelik ön bilgilerin hatırlanması ve kavramların etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 1-27.	
2	Konu Anlatımı: Hadron çarpışmalarında kullanılan temel dedektör bileşenlerinin (iz dedektörleri, kalorimetreler, müon sistemleri) çalışma prensipleri, LHC'de yer alan CMS, ATLAS ve ALICE deneylerinin genel yapısı ve amaçları ile birlikte tanıtılması. Farklı çarpışma senaryolarının dedektör sinyallerine etkisinin değerlendirilmesi. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Dedektör sistemlerinde parçacık izleme, enerji ölçümü ve tür tayini süreçlerine yönelik örnek olaylar üzerinden dedektör bileşenlerinin işlevlerine ilişkin örnekleme yaptırılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): LHC'deki büyük deneylerin (CMS, ATLAS, ALICE) farklı bilimsel hedeflerinin karşılaştırılması ve bu farklılıkların dedektör tasarımlarına nasıl yansıdığına ilişkin kısa bir tartışma yapılması. Kısa Sınav 1 (15 dk.): Ders sonunda, derste işlenen konuları içeren bir kısa sınav yapılması.	1. Dedektör sistemlerinin temel çalışma prensiplerine (iz dedektörleri, kalorimetreler, müon sistemleri) ilişkin ön bilgilerin hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 29-45. 2. LHC'deki büyük deneylerin (CMS, ATLAS, ALICE) genel yapıları ve amaçlarına dair bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 45-52. 3. Kısa Sınav 1 için ön hazırlık: (Dedektör bileşenleri ve LHC deneylerinin yapısı) Kaynak: Ders Kitabı, 29-52.	
3	Konu Anlatımı: Hızlandırıcılar ve Çarpışma Sistemleri. Hızlandırıcı teknolojileri ve çarpışma sistemleri. Hadron çarpıştırıcılarının temel bileşenleri. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Çarpıştırıcı sistemlerde kullanılan bileşenlerin (örneğin dipol ve kuadrupol mıknatıslar) görevlerine ilişkin kısa tanımlamalar verilerek, bir hızlandırıcı şemasında bu bileşenlerin örnekleme yoluyla yerlerinin gösterilmesi sağlanır. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Lineer ve dairesel hızlandırıcıların avantaj ve dezavantajları, LHC gibi yüksek enerjili çarpıştırıcıların neden dairesel yapıda inşa edildiği üzerine kısa bir tartışma yapılması.	1. Hızlandırıcı sistemlerinin temel bileşenleri (dipol/kuadrupol mıknatıslar, RF boşlukları, vakum sistemleri) ile ilgili ön bilgilerin hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 53-61. 2. Lineer hızlandırıcılar, dairesel hızlandırıcılar ve çarpışma sistemlerinin yapısına ilişkin bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 61-72.	
4	Konu Anlatımı: Kuark Modeli ve Hadronlar. Kuark modelinin temel ilkeleri. Hadronların yapısı ve özellikleri. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Farklı baryon ve mezonların kuark içeriklerine yönelik örnekleme yaptırılması, kuarkların yük toplamı üzerinden hadronların elektrik yüklerinin bulunmasına ilişkin basit uygulamaların yapılması.	1. Temel kuark türleri (u, d, s) ve bunların özelliklerine ilişkin ön bilgilerin hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 75-82. 2. Kuark modelinin hadronların yapısına uygulanması ve temel baryon/mezon sınıflamalarına ilişkin bölümlerin	



	Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Kuark modelinin hadronların yapısını açıklamadaki başarısı ve sınırlılıkları üzerine, özellikle egzotik hadronlar (tetraquark, pentaquark) bağlamında kısa bir tartışma yapılması. Kısa Sınav 2 (15 dk.): Ders sonunda, derste işlenen konuları içeren bir kısa sınavın yapılması.	okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 82-90. 3. Kısa Sınav 2 için ön hazırlık: (kuark modeli ve hadronlar) Kaynak: Ders Kitabı, 75-90.
5	Konu Anlatımı: Renk Yüğü ve Renk Kuvveti. Renk yükü kavramı. Renk kuvvetinin hadron fiziğindeki rolü. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Farklı kuark kombinasyonlarının renk yükü bakımından değerlendirilmesine yönelik örneklemeler yaptırılması; renk yüklerinin nasıl birleşerek renk nötr hadronları oluşturduğuna dair temel uygulamaların yapılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Renk kuvvetinin elektromanyetik kuvvetten farkları üzerine kısa bir tartışma yapılması; özellikle gluonların birbirleriyle de etkileşmesi ve bunun hadron fiziğine etkileri üzerinde durulması.	1. Renk yükü ve renk kuvveti kavramlarına ilişkin temel bilgilerin hatırlanması ve renk etkileşimlerinin klasik kuvvetlerle farklarının etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 90-96. 2. Renk yükü taşıyan parçacıklar arasındaki kuvvetlerin özellikleri, renk hapsi ve asimptotik özgürlük gibi QCD kavramlarına yönelik bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 96-102.
6	Konu Anlatımı: Elektro Zayıf Bozunumlar ve Zayıf Etkileşimler. Elektromanyetik ve zayıf kuvvetlerin birleştirilmesi. Zayıf bozunumlar ve hadron fiziğindeki önemi. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Farklı parçacıkların (örn. nötron, pion) zayıf bozunum kanallarına ilişkin örneklemeler yaptırılması ve bozunum şemalarının temel seviyede çözülmesi. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Zayıf etkileşimlerin elektromanyetik kuvvetten farkları üzerine tartışma yapılması; özellikle kısa menzil, yük değişimi ve bozunma zamanları üzerinden karşılaştırma yapılması. Kısa Sınav 3 (15 dk.): Ters yüz edilmiş öğrenme (flipped learning) yöntemi çerçevesinde, ders başında öğrenciye verilen ön hazırlık görevinde yer alan konular (W ve Z bozonları, zayıf etkileşim süreçleri, bozunma kanalları) kapsamında kısa cevaplı ve kavram temelli sorulardan oluşan bir kısa sınavın yapılması.	1. Elektrozayıf kuramın temel bileşenlerine (W ve Z bozonları, nötr ve yüklü akımlar) ilişkin ön bilgilerin hatırlanması ve zayıf bozunumlara dair kavramların etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 105-112. 2. Zayıf etkileşimlerin hadronlar üzerindeki etkisi, bozunma süreçleri ve deneysel gözlemlerle ilişkisine dair bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 112-120. 3. Kısa Sınav 3 için ön hazırlık: (Elektrozayıf kuram, W ve Z bozonları, zayıf bozunum süreçleri) Kaynak: Ders Kitabı, 105-120.
7	Konu Anlatımı: Parçacık Analizi. Karmaşık hadron çarpışmalarının analizi. Parçacık gruplandırma teknikleri. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Basit çarpışma senaryoları üzerinden parçacık akış yönü, yoğunluk ve momentuma göre gruplandırma (örneğin jet benzeri yapıların belirlenmesi) uygulamalarına yönelik örneklemeler yaptırılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Parçacık gruplandırma tekniklerinin çarpışma fiziğinde neden gerekli olduğu ve hangi fiziksel bilgileri sağladığı üzerine kısa bir tartışma yapılması; özellikle çok parçacıklı sistemlerde düzenliliğin nasıl tespit edildiği tartışılır.	1. Hadron çarpışmalarında çok parçacıklı final durumların yapısına ilişkin ön bilgilerin hatırlanması ve parçacık izleme yöntemlerinin etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 123-132. 2. Parçacık gruplandırma, olay yapısı analizi ve kolektif davranış kavramlarına dair temel bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 132-140.
8	Ara Sınav 1	Sınav haftasına kadar işlenen konuların tümünün tekrar edilmesi.
9	Konu Anlatımı: Çarpıştırıcıları ve Astrofizik. Hadron çarpışmalarının kozmik ışınlar ve evrenin anlaşılmasındaki rolü. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) ve önemi. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): LHC’de üretilen enerji yoğunluklarının evrenin ilk anlarındaki koşullarla karşılaştırılmasına yönelik sayısal büyüklükler üzerinden örneklemeler yaptırılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Kozmik ışınlardan elde edilen bilgiler ile çarpıştırıcılarda elde edilen verilerin karşılaştırılması; deneysel kontrolün önemi ve sınırlılıkların tartışılması.	1. Kozmik ışınların temel özelliklerine ve yüksek enerjili çarpışmalara dair fiziksel karşılıklarına ilişkin ön bilgilerin hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 143-152. 2. LHC çarpışmalarının evrenin erken dönemlerine dair sağladığı bilgiler, astrofiziksel çıkarımlar ve deneysel zorluklara yönelik bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 152-160.
10	Konu Anlatımı: Hadronların Yüksek Enerji Fiziğindeki Rolü. Yüksek enerjili hadron çarpışmalarının fiziksel sonuçları. Önemli hadron fiziği deneyleri ve keşifler. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Yüksek enerjili hadron çarpışmalarında ölçülen parçacık spektrumları ve olay yapılarının	1. Yüksek enerjili çarpışmalarla açığa çıkan kuark-gluon plazması, jetler ve hadronizasyon süreçlerine ilişkin ön bilgilerin hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 163-173. 2. Deneysel olarak gözlenen önemli hadron



	yorumlanmasına yönelik örneklemeler yaptırılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Hadron çarpışmalarından elde edilen deneysel bulguların, temel kuvvetlerin doğasını anlamaya katkıları ve bu katkıların teorik modellerle olan ilişkisi üzerine kısa bir tartışma yapılması. Kısa Sınav 4 (15 dk.): Ters yüz edilmiş öğrenme (flipped learning) yöntemi çerçevesinde, ders başında, öğrenciye verilen ön hazırlık görevinde yer alan konuları içeren bir kısa sınavın yapılması.	fiziği olaylarına (örneğin J/ψ baskılanması, çoklu hadron üretimi) dair bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 173-182. 3. Kısa Sınav 4 için ön hazırlık: (Yüksek enerjili hadron çarpışmalarında parçacık üretimi, jet oluşumu ve kuark-gluon plazması gözlemleri) Kaynak: Ders Kitabı, 163-182.
11	Konu Anlatımı: Parçacık Hızlandırıcıları ve Teknolojik Gelişmeler. Parçacık hızlandırıcılarının teknolojik yenilikleri. Yeni nesil hadron çarpıştırıcıları. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): LHC ve FCC gibi farklı ölçeklerdeki hızlandırıcı projelerinde kullanılan teknolojilerin karşılaştırmalı örneklemelerle değerlendirilmesi; süperiletken mıknatısların manyetik alan kapasiteleri üzerinden basit hesaplamaların yapılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Parçacık hızlandırıcılarının bilim dışı alanlarda (tıp, malzeme bilimi, endüstri) kullanımına yönelik kısa bir tartışma yapılması; temel araştırmaların teknolojik dönüşüme katkısı üzerinde durulması.	1. Parçacık hızlandırıcılarında kullanılan ileri teknolojilere (örneğin süperiletken mıknatıslar, kriyojenik sistemler) ilişkin temel bilgilerin hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynaklar: Ders Kitabı, 185-192. 2. Yeni nesil hadron çarpıştırıcı projeleri ve bu projelerin bilimsel hedeflerine dair bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 192-198.
12	Konu Anlatımı: Kuantum Renk Dinamiği (QCD). Renk kuvvetinin kuantum mekanığı. QCD ve hadron fiziğindeki rolü. Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Feynman diyagramları üzerinden kuark ve gluon etkileşimlerinin gösterilmesine yönelik örneklemeler yaptırılması; QCD vertex yapısı ile QED karşılaştırmasının yapılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): QCD'nin perturbatif ve non-perturbatif rejimlerinin hadron fiziğine etkileri üzerine kısa bir tartışma yapılması; özellikle bağlanmış durumların modellenmesindeki zorluklar tartışılır. Kısa Sınav 5 (15 dk.): Ders sonunda, derste işlenen konuları içeren bir kısa sınavın yapılması.	1. QCD Lagranjyeni, renk yükü taşıyan alanlar ve gluon etkileşimlerine dair temel kavramların hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 201-210. 2. QCD'nin hadronların iç yapısını açıklamadaki rolü, renk kuvvetinin kuantum mekaniksel özellikleri ve deneysel doğrulamalarına yönelik bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 210-218. 3. Kısa Sınav 5 için ön hazırlık: (QCD'nin temel ilkeleri, gluon etkileşimleri ve renk kuvvetinin özellikleri) Kaynak: Ders Kitabı, 201-218.
13	Konu Anlatımı: Yukawa Etkileşimi ve Higgs Bozonu. Yukawa etkileşimi ve hadronların kütesinin kökeni. Higgs bozonunun keşfi ve önemi. Sınıf-içi Uygulama: (5 dk) Yukawa etkileşimi üzerinden farklı kuarkların kütleleriyle etkileşim sabitleri arasındaki ilişkinin örneklerle gösterilmesi ve Higgs alanıyla etkileşimin temel matematiksel ifadesinin sunulması. Sınıf-içi Tartışma: (5 dk.) Higgs bozonunun keşfinin parçacık fiziğindeki yeri ve bu keşfin Standart Model'in tamamlanmasındaki rolü üzerine kısa bir tartışma yapılması.	1. Yukawa etkileşimi ve parçacıkların kütle kazanımı sürecine dair temel kavramların hatırlanması ve etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 221-228. 2. Higgs alanı, Higgs bozonunun deneysel gözlemleri ve bu bulgunun parçacık fiziğine etkisine dair bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 228-234.
14	Konu Anlatımı: Hadron Fiziğinde Yeni Yöntemler ve Araştırma Alanları. Hadron fiziği alanındaki güncel araştırma konuları. Yenilikçi deney tasarımları. Sınıf-içi Uygulama: (5 dk) Makine öğrenmesi uygulamalarının parçacık tanımlama veya olay seçimi süreçlerinde kullanımıyla ilgili örnek senaryolar üzerinden güncel veri analiz yaklaşımlarının tartışmalı örneklemelerle tanıtılması. Sınıf-içi Tartışma: (5 dk.) Geleneksel ve yenilikçi deneysel yöntemlerin karşılaştırılması, gelecekteki hadron fiziği araştırmalarının yönünü belirleyen teknolojik ve kuramsal gelişmeler üzerine kısa bir tartışma yapılması. Kısa Sınav 6 (15 dk.) Ders sonunda, derste işlenen konuları içeren bir kısa sınavın yapılması.	1. Hadron fiziğinde öne çıkan güncel deneysel konuların (egzotik hadronlar, ağır iyon fiziği, yoğun madde araştırmaları) tanınması ve ilgili temel kavramların etkinleştirilmesi. Kaynak: Ders Kitabı, 237-244. 2. Yeni nesil analiz teknikleri (özellikle yapay zekâ ve veri madenciliği yaklaşımları) ile deney tasarımlarına dair bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı, 244-250. 3. Kısa Sınav 6 için ön hazırlık: (Hadron fiziğinde güncel araştırma konuları, egzotik hadronlar, ileri veri analiz yöntemleri) Kaynak: Ders Kitabı, 237-250.



15	Öğrenci sunumlarının dinlenmesi. Sınıf-içi Uygulama (15 dk.): Her sunumun ardından, sunum yapan öğrenciye kısa bir geri bildirim verilmesi ve temel kavramlara dair kısa bir hatırlatma yapılması. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): Sunum konusuyla ilişkili olarak sınıf genelinde kısa bir tartışma yapılması; sunumun ele aldığı problemin alternatif çözüm yolları veya deneysel doğrulama yöntemleri üzerine düşünülmesi.	- Öğrencilerin sunacakları konulara ilişkin literatür taraması yapmaları ve içerik çerçevesini netleştirmeleri. - Sunum materyallerinin (slayt, grafik, şema vb.) hazırlanması, zaman yönetimi ve açık anlatım konusunda prova yapılması.
16	Final	İşlenen konuların tümünün tekrar edilmesi.

AKTS İŞYÜKÜ TABLOSU

Etkinlikler	Sayı	Süresi (Saat)	Toplam İşyükü
Ders Saati	14	3	42
Laboratuvar			
Uygulama (sözlü Sınav)			
Arazi Çalışması			
Sınıf Dışı Ders Çalışması	14	3	42
Derse Özgü Staj			
Ödev			
Küçük Sınavlar/Stüdyo Kritiği	6	2	12
Projeler			
Sunum / Seminer	1	20	20
Ara Sınavlar (Sınav Süresi + Sınav Hazırlık Süresi)	1	20	20
Final (Sınav Süresi + Sınav Hazırlık Süresi)	1	20	20
Toplam İş yükü:			156
Toplam İş yükü / 30(s):			5,2
AKTS Kredisi:			5



COURSE INFORMATION FORM

FACULTY / GRADUATE SCHOOL	Faculty of Arts and Sciences
DEPARTMENT / PROGRAMME	Department of Physics
TITLE OF COURSE	Experimental Physics in Hadron Colliders
CODE	FIZ1115
LOCAL CREDIT	3
ECTS	5
LECTURE HOUR / WEEK	3
PRACTICAL HOUR / WEEK	0
LABORATORY HOUR / WEEK	0
PREREQUISITE	None
SEMESTER	Fall, Spring
COURSE LANGUAGE	Turkish, English
LEVEL OF COURSE	First Cycle
COURSE TYPE	Elective @ Bachelor Programme in Physics
COURSE CATEGORY	Major Area Courses
MODE OF DELIVERY	Face-to-Face
OWNER ACADEMIC UNIT	Department of Physics
COURSE COORDINATOR	Ayben KARASU UYSAL
ASSISTANT(S)	
COURSE OBJECTIVES	This course aims to teach students the fundamental concepts of particle physics, the operation of hadron colliders, and the basic principles of experimental studies conducted in these colliders. The course aims to provide students with a comprehensive understanding of topics such as particle accelerators, detector systems, hadrons, and color force, thereby enhancing their skills in analyzing and interpreting data obtained from hadron collisions. Additionally, by examining the applications of hadron colliders, the course aims to inform students about potential future applications in these fields.
COURSE CONTENT	Introduction to particle physics and fundamental concepts; general introduction to hadron colliders; important experiments and detectors; detector systems and interaction scenarios; accelerator technologies; quark model and hadrons; color charge and color force; electroweak theory and decays; collective particle analysis; hadron colliders and astrophysics; high-energy hadron physics; technological developments in particle accelerators; Quantum Chromodynamics (QCD); Yukawa interaction and Higgs boson; new methods and research areas in hadron physics.
RECOMMENDED OR REQUIRED READINGS	Coursebook: [1] Wong, Cheuk-Yin. <i>Introduction to High-Energy Heavy-Ion Collisions</i> . 1st edition, Cambridge University Press, 2010. Required Readings: [1] Close, Frank. <i>Particle Physics: A Very Short Introduction</i> . 1st edition, Oxford University Press, 2004. [2] Halzen, Francis, and Alan D. Martin. <i>Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics</i> . 1. baskı, Wiley, 1984. Recommended Readings: [1] Halpern, Paul. <i>Collider: The Search for the World's Smallest Particles</i> . 1st edition, Wiley, 2009.
Course Learning Outcomes	Upon successful completion of the course, students will be able to 1. Explain the particle physics concepts underlying experimental studies



conducted at hadron colliders.

2. Use detector systems and data analysis techniques employed in hadron colliders.
3. Explain the technical operation of hadron colliders, particle accelerators, and major detector systems.
4. Explain the integration of data obtained from hadron colliders into medical and industrial applications.
5. Apply scientific analysis and evaluation methods in solving complex problems using experimental data from hadron colliders.

EVALUATION SYSTEM

Activities	Number	Percentage of Grade
Attendance/Participation:		
Laboratory		
Application (Oral Examination):		
Field Work		
Special Course Internship (Work Placement)		
Quizzes/Studio Critics: • Content: Comprehensive questions covering all topics addressed up to the exam week • Format: Face-to-face multiple-choice quiz (5-10 minutes) • Detailed Assessment Criteria: -Ability to solve problems related to the theoretical topics covered in the course	6	-
Homework Assignments:		
Presentations/Jury: • Content: Students will be asked to evaluate their own learning processes and deliver group presentations • Format: Group presentations • Detailed Assessment Criteria: -Ability to accurately explain the topics learned -Proper use of presentation techniques	1	%30
Project:		
Seminar/Workshop		
Midterms: • Content: Comprehensive questions covering all topics addressed up to the exam week • Format: Face-to-face written exam. (90 minutes). • Detailed Assessment Criteria: -Demonstration of understanding of the fundamental concepts of the course -Ability to solve problems related to theoretical topics -Ability to carry out theoretical reasoning processes	1	%30
Final:	1	%40



- **Content:** Comprehensive questions covering the entire content of the course
- **Format:** Face-to-face written exam. (90 minutes).
- **Detailed Assessment Criteria:**
 - Ability to apply advanced problem-solving skills
 - Demonstration of a thorough understanding of all topics covered in the course

Percentage of In-Term Studies

%60

Percentage of Final Examination

%40

TOTAL

%100

WEEKLY SUBJECTS AND RELATED PREPARATION STUDIES

WEEKS	COURSE OUTLINE	Related Preparation
1	Lecture: Introduction and Fundamentals of Particle Physics — core concepts of particle physics and an overview of hadron colliders. Quick Practice (5 minutes): After brief introductions to the main particle species (leptons, quarks, bosons), students work through quick comparisons of their charge, spin and mass. In-Class Discussion (5 minutes): A short discussion on the role of particle physics concepts in understanding the laws of nature.	1. Review prior knowledge of the historical development of particle physics, basic particle types, and the classification of interactions to activate key concepts. Source: Coursebook, 1-27.
2	Lecture: Introduction of the basic detector components used in hadron collisions (tracking detectors, calorimeters, muon systems), including their working principles, and an overview of the structure and objectives of major experiments at the LHC (CMS, ATLAS, and ALICE). Evaluation of how different collision scenarios affect detector signals. Quick Practice (5 minutes): Case-based exercises on the functions of detector components in particle tracking, energy measurement, and particle identification processes. In-Class Discussion (5 minutes): A brief discussion comparing the scientific goals of major LHC experiments (CMS, ATLAS, ALICE) and how these differences influence detector design. Quiz 1 (15 minutes): A quiz at the end of the class covering the topics taught during the session.	1. Review and activate prior knowledge of the basic operating principles of detector systems (tracking detectors, calorimeters, muon systems). Source: Coursebook, 29–45. 2. Read the sections on the structure and objectives of major LHC experiments (CMS, ATLAS, ALICE). Source: Coursebook, 45–52. 3. Quiz 1: (Detector components and the structure of LHC experiments) Source: Coursebook, 29–52.
3	Lecture: Accelerators and Collision Systems. Accelerator technologies and collision systems. Fundamental components of hadron colliders. Quick Practice (5 minutes): Short definitions of the functions of components used in collider systems (e.g., dipole and quadrupole magnets) followed by exercises locating these components within a schematic diagram of an accelerator. In-Class Discussion (5 minutes): A brief discussion on the advantages and disadvantages of linear and circular accelerators, including why high-energy colliders such as the LHC are built with a circular	1. Review and activate prior knowledge of the fundamental components of accelerator systems (dipole/quadrupole magnets, RF cavities, vacuum systems). Source: Coursebook, 53–61. 2. Read the sections on the structure of linear accelerators, circular accelerators, and collision systems. Source: Coursebook, 61–72.



	structure.	
4	Lecture: Quark Model and Hadrons. Fundamental principles of the quark model. Structure and properties of hadrons. Quick Practice (5 minutes): Exercises on the quark content of various baryons and mesons, along with simple applications to determine hadron electric charges based on the total charge of quarks. In-Class Discussion (5 min): A brief discussion on the success and limitations of the quark model in explaining hadron structure, with a focus on exotic hadrons (tetraquark, pentaquark). Quiz 2 (15 min): A quiz at the end of the class covering the topics taught during the session.	1. Recall and activate prior knowledge on the fundamental quark types (u, d, s) and their properties. Source: Coursebook, 75–82. 2. Read sections on the application of the quark model to hadron structure and the classification of basic baryons and mesons. Source: Coursebook, 82–90. 3. Quiz 2: (quark model and hadrons) Source: Coursebook, 75–90.
5	Lecture: Color Charge and Color Force. The concept of color charge. The role of color force in hadron physics. Quick Practice (5 minutes): Exercises evaluating different quark combinations in terms of their color charges; basic applications showing how color charges combine to form color-neutral hadrons. In-Class Discussion (5 minutes): A brief discussion on the differences between color force and electromagnetic force; with a focus on gluon self-interactions and their implications for hadron physics.	1. Recall fundamental concepts of color charge and color force and activate understanding of how color interactions differ from classical forces. Source: Coursebook, 90–96. 2. Read sections on the properties of forces between color-charged particles, focusing on QCD concepts such as color confinement and asymptotic freedom. Source: Coursebook, 96–102.
6	Lecture: Electroweak Decays and Weak Interactions. Unification of electromagnetic and weak forces. Weak decays and their significance in hadron physics. Quick Practice (5 minutes): Exercises on weak decay channels of different particles (e.g., neutron, pion), and basic-level analysis of decay diagrams. In-Class Discussion (5 minutes): A discussion on the differences between weak interactions and the electromagnetic force; with comparisons in terms of range, charge change, and decay lifetimes. Quiz 3 (15 minutes): A short quiz at the beginning of the lesson, covering topics assigned as pre-class preparation within the flipped learning framework.	1. Recall of prior knowledge on the fundamental components of the electroweak theory (W and Z bosons, neutral and charged currents), and activation of concepts related to weak decays. Source: Coursebook, 105–112. 2. Read sections on the effect of weak interactions on hadrons, decay processes, and their connection with experimental observations. Source: Coursebook, 112–120. 3. Preparation for Quiz 3: (Electroweak theory, W and Z bosons, weak decay processes) Source: Coursebook, 105–120.
7	Lecture: Particle Analysis. Analysis of complex hadron collisions. Particle clustering techniques. Quick Practice (5 minutes): Exercises on grouping particles based on flow direction, density, and momentum using simple collision scenarios (e.g., identifying jet-like structures). In-Class Discussion (5 minutes): A brief discussion on why particle clustering techniques are necessary in collision physics and what physical information they provide; focusing particularly on how regularities are identified in multiparticle systems.	1. Recall of prior knowledge regarding the structure of multiparticle final states in hadron collisions and activation of particle tracking methods. Source: Coursebook, 123–132. 2. Readings on basic concepts such as particle clustering, event structure analysis, and collective behavior. Source: Coursebook, 132–140.
8	Midterm 1	Review of all topics covered up to the exam week.
9	Lecture: Colliders and Astrophysics. The role of hadron collisions in understanding cosmic rays and the universe. The Large Hadron Collider (LHC) and its significance. Quick Practice (5 minutes): Exercises involving comparisons between the energy densities produced at the LHC and the conditions in the early universe using numerical quantities.	1. Recall and activation of prior knowledge about the basic properties of cosmic rays and their physical correspondence to high-energy collisions. Source: Coursebook, 143–152. 2. Readings on the information provided by LHC collisions regarding the early universe, astrophysical implications, and experimental challenges. Source: Coursebook, 152–160.



	In-Class Discussion (5 minutes): A discussion on the comparison of data obtained from cosmic rays and collider experiments; focusing on the importance of experimental control and its limitations.	
10	Lecture: The Role of Hadrons in High-Energy Physics. Physical outcomes of high-energy hadron collisions. Key experiments and discoveries in hadron physics. Quick Practice (5 minutes): Sample exercises on interpreting particle spectra and event structures measured in high-energy hadron collisions. In-Class Discussion (5 minutes): A short discussion on how experimental findings from hadron collisions contribute to understanding the nature of fundamental forces and their connection with theoretical models. Quiz 4 (15 minutes): A short quiz at the beginning of the lesson, covering topics assigned as pre-class preparation within the flipped learning framework.	1. Recall and reinforcement of prior knowledge regarding quark-gluon plasma, jets, and hadronization processes arising from high-energy collisions. Source: Coursebook, 163–173. 2. Readings on key experimental findings in hadron physics (e.g., J/ψ suppression, multiple hadron production). Source: Coursebook, 173–182. 3. Preparation for Quiz 4: (Particle production in high-energy hadron collisions, jet formation, and quark-gluon plasma observations). Source: Coursebook, 163–182.
11	Lecture: Particle Accelerators and Technological Advancements. Technological innovations in particle accelerators. Next-generation hadron colliders. In-Class Practice (5 minutes): Comparative evaluation of technologies used in accelerator projects of different scales, such as the LHC and FCC; simple calculations based on the magnetic field capacities of superconducting magnets. In-Class Discussion (5 minutes): A brief discussion on the use of particle accelerators in non-scientific fields (medicine, materials science, industry); emphasis on the contribution of fundamental research to technological transformation.	1. Recall and reinforcement of basic knowledge related to advanced technologies used in particle accelerators (e.g., superconducting magnets, cryogenic systems). Source: Coursebook, 185–192. 2. Reading sections on new generation hadron collider projects and their scientific objectives. Source: Coursebook, 192–198.
12	Lecture: Quantum Chromodynamics (QCD). Quantum mechanics of the color force. The role of QCD in hadron physics. Quick Practice (5 minutes): Exercises on representing quark and gluon interactions through Feynman diagrams; comparison of QCD vertex structure with QED. In-Class Discussion (5 minutes): A short discussion on the effects of perturbative and non-perturbative regimes of QCD on hadron physics; focusing especially on the challenges in modeling bound states. Quiz 5 (15 minutes): A quiz at the end of the class covering the topics taught during the session.	1. Recalling and activating basic concepts related to the QCD Lagrangian, color-charged fields, and gluon interactions. Source: Coursebook, 201–210. 2. Reading sections on the role of QCD in explaining the internal structure of hadrons, quantum mechanical properties of the color force, and experimental confirmations. Source: Coursebook, 210–218. 3. Preparation for Quiz 5: (Basic principles of QCD, gluon interactions, and properties of the color force) Source: Coursebook, 201–218.
13	Lecture: Yukawa Interaction and the Higgs Boson. The Yukawa interaction and the origin of hadron mass. The discovery and significance of the Higgs boson. Quick Practice (5 minutes): Demonstrating the relationship between the masses of different quarks and their coupling constants via the Yukawa interaction, and presenting the basic mathematical expression of interaction with the Higgs field. In-Class Discussion (5 minutes): A brief discussion on the role of the discovery of the Higgs boson in particle physics and its contribution to the completion of the Standard Model.	1. Recalling and activating the basic concepts related to the Yukawa interaction and the mass acquisition process of particles. Source: Coursebook, 221–228. 2. Reading sections on the Higgs field, experimental observations of the Higgs boson, and the impact of this discovery on particle physics. Source: Coursebook, 228–234.
14	Lecture: New Methods and Research Areas in Hadron Physics. Current research topics in the field of hadron physics. Innovative experimental designs.	1. Identifying current prominent experimental topics in hadron physics (exotic hadrons, heavy ion physics, dense matter research) and activating related fundamental concepts. Source: Coursebook, 237–244.



	Quick Practice (5 minutes): Introducing contemporary data analysis approaches through example scenarios on the use of machine learning applications in particle identification or event selection, using guided sample discussions. In-Class Discussion (5 minutes): A brief discussion comparing traditional and innovative experimental methods, and addressing the technological and theoretical developments shaping the future direction of hadron physics research. Quiz 6 (15 minutes) A quiz at the end of the class covering the topics taught during the session.	2. Reading sections on new-generation analysis techniques (especially artificial intelligence and data mining approaches) and experimental designs. Source: Coursebook, 244–250. 3. Preparation for Quiz 6: (Current research topics in hadron physics, exotic hadrons, advanced data analysis methods) Source: Coursebook, 237–250.
15	Student Presentations. Quick Practice (15 minutes): After each presentation, brief feedback will be given to the presenting student along with a short reminder of fundamental concepts. In-Class Discussion (5 minutes): A short class-wide discussion related to the presentation topic; considering alternative solutions or experimental verification methods for the problem addressed in the presentation.	1. Conduct a literature review on their presentation topics and clarify the content framework. 2. Preparation of presentation materials (slides, graphics, diagrams, etc.), rehearsal on time management and clear communication.
16	Final	Review of all topics covered.

ECTS WORKLOAD TABLE

Activities	Number	Duration (Hour)	Total Workload
Course Hours	14	3	42
Laboratory			
Application			
Field Work			
Study Hours Out of Class	14	3	42
Special Course Internship (Work Placement)			
Homework Assignments			
Quizzes/Studio Critics	6	2	12
Project			
Presentations / Seminar	1	20	20
Mid-Terms (Examination Duration + Examination Prep. Duration)	1	20	20
Final (Examination Duration + Examination Prep. Duration)	1	20	20
Total Workload:			156
Total Workload / 30(h):			5.2
ECTS Credit:			5



Ders Öğrenim Çıktısı & Program Çıktısı Matrisi

	<u>DÖC-1</u>	<u>DÖC-2</u>	<u>DÖC-3</u>	<u>DÖC-4</u>	<u>DÖC-5</u>
PC-1 Temel bilimler ve fizik alanındaki kuramsal bilgilerini akademik düzeyde analiz, yorum ve problem çözümünde kullanabileceklerdir./ Use their comprehensive theoretical knowledge in fundamental sciences and physics for analysis, interpretation, and problem-solving at an academic level.	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>
PC-2 Uygulamalı bilgilerini fiziksel süreçlerin modellenmesi, deneysel tasarım ve problem çözümünde etkili ve amaca yönelik biçimde kullanabileceklerdir./ Apply their practical knowledge effectively and strategically in modelling physical processes, experimental design, and problem-solving.	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
PC-3 Kuramsal ve/veya deneysel bilgilerini karmaşık fizik problemlerinin çözümünde etkili biçimde kullanarak, bu problemlere yönelik uygun analiz ve modelleme yöntemlerini seçip uygulayabileceklerdir./ Use their theoretical and/or experimental knowledge effectively in solving complex physics problems by selecting and applying appropriate analysis and modelling methods for these problems.	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
PC-4 Disiplinlerarası bir yaklaşımla, farklı alanlarda edinmiş oldukları bilgileri sentezleyebileceklerdir./ Synthesise knowledge acquired from different disciplines through an interdisciplinary approach.	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
PC-5 Fizik biliminin temel ve uygulamalı alanlarında edindikleri bilgi birikimlerini ve kuramsal analiz, deneysel uygulama ve sayısal modelleme ve hesaplamalı fizik araçlarını kullanma ve geliştirme becerilerini, kuramsal fizik, nükleer fizik, yoğun madde fiziği, yüksek enerji fiziği, nanoteknoloji, yenilenebilir/alternatif enerji teknolojileri, ileri malzeme tasarımı, nükleer teknoloji ve	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>



kuantum teknolojileri gibi disiplin-içi ve disiplinlerarası uzmanlık alanlarında geliştirebileceklerdir. / Advance their acquired knowledge in the fundamental and applied fields of physics and their skills in theoretical analysis, experimental application, numerical modelling and using and developing computational physics tools in both disciplinary and interdisciplinary areas of specialisation such as theoretical physics, nuclear physics, condensed matter physics, high energy physics, nanotechnology, renewable/alternative energy technologies, advanced materials design, nuclear technology, and quantum technologies.					
PC-6 Fizik alanında yaygın olarak kullanılan bilgisayar ve yapay zekâ teknolojileri ile en az bir programlama dilini, problemleri çözmek, veri analizi yapmak ve simülasyonlar gerçekleştirmek için etkin biçimde kullanabileceklerdir. / Use at least one programming language and computer and artificial intelligence technologies widely employed in physics for problem-solving, data analysis, and simulations.	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>4</u>
PC-7 Fizik ve ilgili alanlardaki kariyer fırsatlarını değerlendirerek kişisel ve mesleki gelişim hedeflerini belirleyebilecekler ve bu hedeflere ulaşmak için hayat boyu öğrenme stratejilerini kullanabileceklerdir. / Follow scientific and technological developments in physics and related fields, assess career opportunities, identify personal and professional development goals, and adopt lifelong learning strategies to achieve these goals.	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
PC-8 Bilimsel araştırmalarını ve mesleki faaliyetlerini yürütürken doğabilecek hukuksal sonuçları ve toplumsal etkileri dikkate alarak mesleki etik ilkeler, kalite standartları ile evrensel değerler doğrultusunda ve sosyal sorumluluk bilinci ve adalet duygusuyla hareket edebileceklerdir. / Act with a sense of social responsibility	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>



and justice and in accordance with professional ethical principles, quality standards, and universal values by taking into account potential legal and societal consequences of their scientific research and professional activities.					
PC-9 Bireysel olarak ya da takımlarda etkin biçimde çalışabileceklerdir./ Work effectively both independently and as part of a team.	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
PC-10 Fizik alanında, güvenilir bilgi kaynaklarına ulaşarak literatür taraması yapabilecekler ve akademik araştırma tasarlayıp yürütebileceklerdir./ Access reliable sources of information, conduct literature reviews, and design and carry out academic research in the field of physics.	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>
PC-11 İleri düzey fizik konularını, teorileri, araştırmaları ve problem çözümlerini, fizik terminolojisi kullanarak Türkçe ve İngilizcede tüm paydaşlara sözlü ve yazılı olarak aktarabileceklerdir./ Effectively communicate topics, theories, research, and problem solutions in physics to all relevant stakeholders using appropriate physics terminology, both orally and in writing, in Turkish and in English.	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
PC-12 Laboratuvar çalışmalarında, bilimsel veri toplayarak teknik ve/veya bilimsel raporlar hazırlayabilecek ve mevcut raporları yorumlayabileceklerdir./ Collect scientific data during laboratory work, prepare technical and/or scientific reports and interpret existing reports.	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>