

İçindekiler

YAŞAM NEDİR?	7
Önsöz	9
Yazarın Önsözü	11
1. KLASİK FİZİKÇİNİN KONUYA YAKLAŞIMI	13
İncelemenin Genel Niteliği ve Amacı – İstatistiksel Fizik. Yapıda Temel Farklılık – Naif Fizikçinin Konuya Yaklaşımı – Neden Atomlar Bu Kadar Küçüktür? – Organizmaların İşleyişi Kesin Fiziksel Yasalar Gerekendirir – Fizik Yasaları Atomik İstatistiklerini Temel Alır, Dolayısıyla Yaklaşıktırlar – İstatistiklerin Kesinliği, İşe Karışan Atomların Çok Sayıda Olmasını Temel Alır. Birinci Örnek (Paramanyetizma) – İkinci Örnek (Brown Hareketi, Difüzyon) – Üçüncü Örnek (Ölçüm Hassasiyetinin Sınırları) – \sqrt{n} Kuralı	
2. KALITIM MEKANİZMASI	33
Klasik Fizikçinin Beklentisi, Önemsiz Ne Kelime, Hatalıdır – Kalıtımın Şifre Yazısı (Kromozomlar) – Hücre Bölünmesi Sayesinde Bedenin Büyümesi (Mitoz) – Mitozda Her Kromozom Eşlenir – İndirgeyici Bölünme (Mayoz) ve Döllenme (Singami) – Haploit Bireyler – İndirgeyici Bölünmenin Olağanüstü Önemi – Çaprazlama Parça Alışverişi. Özelliklerin Yeri – Genin Azami Boyutu – Küçük Sayılar – Kalıcılık	
3. MUTASYONLAR	50
“Sıçramaya Benzer” Mutasyonlar. Doğal Seçilimin İşlediği Zemin – Katıksız Ürüyorlar, Yani Kalıtları Kusursuz – Mevkileşme. Çekiniklik ve Baskınlık – Bazı Teknik İfadeleri Tanıtmak – Aile İçi Üremenin Zararları – Genel ve Tarihsel Yorumlar – Mutasyonun Nadir Bir Hadise Olmasının Gerekliliği – X Işınlının Tetiklediği Mutasyonlar – Birinci Yasa. Mutasyon Tekil Bir Hadisedir – İkinci Yasa. Hadisenin Yerini Belirlemek	

4. KUANTUM MEKANİKSEL BULGULAR

68

Klasik Fizikle Açıklanamayan Kalıcılık – Kuantum Kuramıyla Açıklanabilir – Kuantum Kuram, Ayrık Haller, Kuantum Sıçramaları – Moleküller – Kararlılıkları Sıcaklığa Bağlıdır – Matematik Faslı – Birinci Düzeltme – İkinci Düzeltme

5. DELBRÜCK'ÜN MODELİ TARTIŞILIYOR, SINANIYOR

81

Kalıtım Malzemesinin Genel Resmi – Resmin Eşsizliği – Bazı Geleneksel Yanlış Kavramlar – Maddenin Farklı “Halleri” – Gerçekten Önemli Olan Ayrım – Aperiodyik Katı – Minyatür Şifreye Sıkıştırılmış İçeriğin Çeşitliliği – Gerçeklerle Kıyaslamak: Kararlılık Derecesi; Mutasyonların Süreksizliği – Doğal Yollarla Seçilime Uğrayan Genlerin Kararlılığı – Mutantların Bazen Düşük Kararlılığı – Sıcaklık, Kararsız Genleri, Kararlı Genlerden Daha Az Etkiler – X Işınları Nasıl Mutasyon Üretiyor? – Verimlilikleri, Doğal Değişkenliğe (Mutabilite) Bağlı Değildir – Tersinir Mutasyonlar

6. DÜZEN, DÜZENSİZLİK VE ENTROPİ

96

Modelden Hareketle Kayda Değer Genel Bir Hüküm – Düzen Üzerine Kurulu Düzen – Canlı Madde, Denge Haline Çöküşten Sakınır – “Negatif Entropiyle” Beslenir – Entropi Nedir? – Entropinin İstatistiksel Anlamı – Çevreden “Düzen” Çekerek Sürdürülen Düzenleme

7. YAŞAM, FİZİK YASALARINA MI DAYANIYOR?

108

Organizmada Ortaya Çıkması Beklenebilecek Yeni Yasalar – Biyolojik Durumun Gözden Geçirilmesi – Fiziksel Durumun Özetlenmesi – Çarpıcı Karşıtlık – Düzenlilik Üretmenin İki Yöntemi – Yeni İlke, Fizik Bilimine Yabancı Değil – Bir Saatin Hareketi – Düzenek Sonuçta İstatistikseldir – Nernst'in Teoremi – Sarkaç Saati Fiilen Sıfır Sıcaklıktadır – Düzenek ve Organizma Arasındaki İlişki

SONSÖZ. DETERMİNİZM VE ÖZGÜR İRADE ÜSTÜNE

122

ZİHNİN VE MADDE	129
1. BİLİNÇLİLİĞİN FİZİKSEL TEMELİ	131
Sorun – Geçici Bir Yanıt – Etik	
2. ANLAMININ GELECEĞİ	144
Biyolojik Bir Çıkılmaz Sokak mı? – Darwincilik’in Bariz Kasveti – Davranışlar Seçilimi Etkiler – Sahte Lamarckçılık – Alışkanlıkların Ve Becerilerin Genetik Yapıda Sabitlenmesi – Entelektüel Evrimi Bekleyen Tehlikeler	
3. NESNELLEŞTİRME İLKESİ	163
4. ARİTMETİKSEL PARADOKS: ZİHNİN TEKLİĞİ	177
5. DİN VE BİLİM	192
6. DUYUSAL NİTELİKLERİN GİZEMİ	209
OTOBİYOGRAFİK DENEMELER	223
İngilizceye çeviren, Schrödinger’in torunu Verena	

YAŞAM NEDİR?

Canlı Hücrenin Fiziksel Yönü

**Trinity Koleji (Dublin) Dublin İleri Araştırmalar
Enstitüsü'nün himayesinde 1943 yılının Şubat ayında verilen
seminerler temel alınmıştır.**

Anne ve Babamın anısına

Önsöz

1950'lerin başında genç bir matematik öğrencisiyken fazla kitap okumazdım; fakat okuduğum, en azından bitirene kadar okuduklarım çoğunlukla Erwin Schrödinger'in kitapları olurdu. Yazıları beni daima içine çeker, ayrıca bir keşfetme heyecanı, içinde yaşadığımız bu gizemli dünyaya dair gerçekten yeni bir anlayış kazanma beklentisi doğururdu. Yazıları arasında bu nitelikleri en çok barındıranı, *Yaşam Nedir?* adlı kısa klasik yapıtıdır; şimdi anlıyorum ki bu metin kesinlikle bu yüzyılın en etkili bilimsel yazıları arasındadır. Bu kitap, yaşamın kimi gerçek gizemlerini anlama yolunda güçlü bir çabayı temsil eder. Bu işe soyunan fizikçinin derin sezgileri, dünyanın yapıtaşlarını algılamamızı önemli ölçüde değiştirmiştir. Kitabın, bilimsel disiplinler arasında dolanması kendi zamanı açısından sıra dışıydı; yine de sevimli, belki de insana güven veren bir alçakgönüllülükle yazılmıştır; öyle ki, gerek konunun uzmanı olmayanlar gerekse bilim insanı olmayı arzulayan gençler metni rahatlıkla anlayabilir. Aslında, J. B. S. Haldane ve Francis Crick dahil, biyolojiye büyük katkılar yapmış pek çok bilim insanı, son derece özgün ve müthiş bir düşünür olan bu fizikçinin ortaya koyduğu geniş kapsamlı fikirlerinden bir hayli etkilendiklerini kabul etmiştir. (Gerçi her zaman onunla tam bir fikir birliği içinde olmamışlardır.)

İnsan düşüncesine büyük etkisi olmuş pek çok çalışma gibi, bu eserin de değindiği noktalar, kavrandıkları anda, açık seçik gerçekleri göz önüne serer; yine de, bu gerçekleri kavraması beklenen insanların büyük bir bölümü, bunları hâlâ

görmezden geliyor. Kuantum etkilerinin biyoloji araştırmalarında pek geçerliliği olmadığını, hattâ sırf enerji elde etmek için beslendiğimizi hâlâ sık sık işitiyoruz. Bu durum, Schrödinger'in *Yaşam Nedir?* eserinin günümüzde bizim açımızdan geçerliliğini hâlâ koruduğunu gösteriyor. Eseri yeniden okumaya fazlasıyla değer!

Roger Penrose
8 Ağustos 1991

Yazarın Önsözü

Bilim insanından, bazı konularda birinci elden tam ve eksiksiz bilgi sahibi olması beklenir, dolayısıyla, uzman olmadığı bir konuda yazması genelde beklenmez. Buna neredeyse soylulara ait zorunlu bir kuralmış (*noblesse oblige*) gibi bakılır. Ama ben şimdilik soyluluk konusunu bir kenara bırakmak ve bundan doğan yükümlülüklerden kurtulmak istiyorum. Gerekçem ise şöyle:

Atalarımızdan, her şeyi kapsayan ve aynı zamanda bir bütün halinde birleştirilmiş bilgiye ulaşmak için güçlü bir özlem miras aldık. İlkçağdan beri ve yüzyıllar boyunca, eğitimin en yüce kurumlarına üniversite denmesi bize, bilginin evrensel yanının, itibar edilmesi gereken tek önemli konu olduğunu hatırlatıyor. Aşağı yukarı son yüzyılda çeşitli bilgi dallarının hem enine hem derinliğine yayılması, bizi tuhaf bir ikilemele yüz yüze bırakmıştır. Bilinen her şeyi birleştirip bir bütün oluşturmaya yarayacak güvenilir malzemeyi ancak yeni yeni elde etmeyi başladığımızı açıkça hissediyoruz; ama öte yandan, tek başına bir aklın, bilginin uzmanlaşmış küçük bir kısmından fazlasına egemen olması neredeyse olanaksız hale gelmiştir.

İçimizden bazılarının kendilerini komik duruma düşürme tehlikesine rağmen, olguları ve kuramları, bunların bazılarını ikinci elden ve eksik bilgiyle de olsa birleştirmeye kalkması dışında bu ikilemden bir çıkış yolu göremiyorum (gerçek amacımızın tümüyle ortadan kalkmaması için).

Özrüme bu kadar yer ayırmak sanırım yeterli.

Dilin ortaya çıkardığı zorluklar görmezden gelinecek gibi değil. Kişinin anadili, üzerine tam oturan bir giysi gibidir. Kişi, anadilini kullanamıyorsa ve yerine başka bir dil geçirmek zorundaysa kendini asla o kadar rahat hissedemez.

Bu nedenle Dr. Inkster'e (Trinity Koleji, Dublin), Dr. Padraig Browne'a (St Patrick Koleji, Maynooth), en az onlar kadar Bay S. C. Roberts'a teşekkür borçluyum. Bu yeni giysiyi üzerime oturtmak için kolları sıvadılar ve kendi "özgün" tarzımdan vazgeçmekte zaman zaman gönülsüzlük sergilediğimde daha da büyük sıkıntılara katlandılar. Yine de bu çalışmada arkadaşlarımla hatalarımı yumuşatma çabalarını atlatan birkaç nokta kalmışsa, bunlar onlardan değil benden bilinmeli.

Metin içinde, çok sayıda bölüm başlığı aslında sayfa yanı özet notu olarak düşünülmüştür. Bölümler *in continuo* (devamlılık içinde, sırasıyla ve art arda) okunmalıdır.

E.S.
Dublin
Eylül 1944

Homo liber nulla de re minus quam de morte cogitat; et ejus sapientia non mortis sed vitae meditatio est.

SPİNOZA'nın *Etika* eseri, Kısım IV, 67. Önerme

(Özgür bir insanın, ölümden daha az düşündüğü bir şey yoktur; bilgelik ise, ölüme değil yaşama kafa yormaktır.)

Birinci Bölüm

Klasik Fizikçinin Konuya Yaklaşımı

Düşünüyorum, öyleyse varım.
Descartes

İncelemenin Genel Niteliği ve Amacı

Bu ufak, alçakgönüllü kitap, daha en başta, ele aldığı meselenin çok zor olduğu ve fizikçilerin anlaşılması en zor ve en ürkülen silahı olan matematiksel *tümdengelim* pek kullanılmasa da yine de popüler nitelikte bir ders olmayacağı uyarısına rağmen, sayısı daha sonra azalmayan, aşağı yukarı dört yüz kişilik bir izleyici topluluğuna bir kuramsal fizikçi tarafından verilen halka açık bir konferans dizisinden doğdu. Matematiğe fazla başvurulmayışının nedeni, konunun, matematik olmaksızın da açıklanacak kadar basit olması değil, tam tersine, matematiğin tümüyle devreye girmesine izin vermeyecek kadar karmaşık olması.

Konferansları en azından daha anlaşılabilir ve popüler yapan başka bir özellik ise, konferansçının, biyoloji ile fizik alanları arasında bir yerde duran ana düşüncenin, hem fizikçiler hem biyologlar tarafından anlaşılmasını sağlama niyetidir.

Aslında, çok çeşitli başlıklar altında toplanmış olsa da, bütün bu derslerin ve konferansın amacı, yalnızca tek bir düşünceyi iletmektir; büyük ve önemli bir soruya getirilen mi-

nik bir yorumdur bu. Yolumuzu kaybetmemek için planımızın ana hatlarını önceden kısaca belirtmek yararlı olacaktır.

Büyük, önemli ve çokça tartışılan soru şudur:

Bir canlı organizmanın uzamsal sınırları içinde, *uzay ve zaman*'da meydana gelen olaylar, fizik ve kimya disiplinleri ile nasıl açıklanır?

Bu alçakgönüllü kitabın açıklayıp yerli yerine oturtmaya çalışacağı yanıtın özeti şöyledir:

Günümüz fizik ve kimya disiplinleri, bu tür olayları açıklamakta şimdilik başarısız olsa da, bu bilimlerin söz konusu olayları açıklayabileceğinden asla şüphe etmemek gerekir.

İstatistiksel Fizik, Yapıda Temel Farklılık

Eğer bu saptama yalnızca bugün arayıp da bulamadığımız bir çözümü gelecekte elde etme umudunu canlandırmayı amaçlasaydı, çok önemsiz ve basit bir yorum olurdu. Oysa burada amaçlanan çok daha olumlu bir şeydir; ayrıca, şu ana kadar süregelen yetersizliğimizin nedenleri fazlasıyla irdelenmiştir.

Son otuz-kırk yılda biyologların, özellikle de genetikçilerin başarılı çalışmaları sayesinde, organizmaların gerçek maddesel yapı ve işleyişleri hakkında yeterli bilgiye ulaşılmıştır. Bu bilgiler, aynı zamanda, bugünün fizikçi ve kimyacılarının, canlı organizmalar içinde gelişen olayları, zaman ve uzay bağlamında açıklayamadıklarını ve açıklayamama nedenlerini de kesin olarak içermektedir.

Organizmanın en hayatî kısımlarında atomların düzenle-

nişleri ve bu düzenlenişlerin etkileşimleri, bugüne dek gerek fizikçilerin, gerekse kimyacıların kendi deneysel ve kuramsal araştırmalarında ele aldıkları tüm o atom düzenlenişlerinden temelde farklıdır. Ancak, oldukça temel bir nitelik barındırdığını söylediğim bu farklılık fizik ve kimya yasalarının baştan aşağı istatistiksel olduğu bilgisiyle adamakıllı donatılmış fizikçiler dışındaki kişilere çok önemsiz görünebilir.¹ Çünkü canlı organizmaların hayatı kısımlarının yapısının, biz fizikçi ve kimyacıların laboratuvarında yaptığımız fiziksel deneylerdeki ya da masa başında yalnızca akıl yürüterek üzerinde çalıştığımız her türlü maddeden farklı oluşu, bu istatistiksel bakış açısıyla bağlantılıdır.²

Bu şekilde keşfedilmiş olan yasaların ve kuralların, yine bu yasa ve düzenlerin üzerine kurulu yapıyı sergilemeyen sistemlerin davranışları için doğrudan geçerli olması hemen hemen hiç düşünülemez.

Fizikçi olmayanların, yukarıda kullandığım kadar soyut terimlerle ifade edilen “istatistiksel yapı”daki farkları kavraması ve bu farklılığın önemini anlaması beklenemez. Bu ifadeyi daha açmak için, kitabın sonraki bölümlerinde çok daha ayrıntılı anlatılacak olan, canlı hücrenin en hayatı parçasından, yani kromozom ipliğinden bahsedeceğim; kromozom ipliği bir *aperiyodik* (*periyodik olmayan*) kristal yapısına sahiptir. Bugüne kadar fizikte bizler yalnızca *periyodik kristal-*

¹ Bu çelişki biraz fazla genel görünebilir. Tartışmayı, kitabın sonuna bırakıyoruz, sayfa 116-118.

² Bu bakış açısı F. G. Donnan tarafından iki çok önemli makalede vurgulanmıştır: *Scientia*, xxiv, no 78 (1918), 10 (“La science physico-chimique decrit-elle d’une façon adéquate les phénomènes biologiques?”); *Smithsonian Report for 1929*, sayfa 309 (“The mystery of life”).

lerle uğraştık. Alçakgönüllü bir fizikçinin gözünde periyodik kristaller çok ilginç ve karmaşık nesnelere; en büyüleyici ve karmaşık maddesel yapıları meydana getiren bu cansız maddeler, fizikçinin aklının sınırlarını zorlar. Ancak, aperiyo-dik kristallere oranla bunlar görece yalın ve sıkıcıdır. Yapıda-ki farklılık, aynı desenin düzen içinde defalarca yinelendiği sıradan bir duvar kağıdı ile, örneğin, Raphael'in eserlerinde gözlemlenen ve sıkıcı tekrarlar barındırmayan, büyük bir ustanın elinden çıkmış incelikli, tutarlı ve derin anlamlı bir tasarım arasındaki fark gibidir.

Fizikçinin araştırmaları açısından periyodik kristalin en karmaşık nesnelere biri olduğunu söylerken, aklımda standart fizikçiler vardı. İşin doğrusu, çok daha karmaşık molekülleri inceleyen organik kimya, yaşamın maddesel taşı-yıcısı olduğunu düşündüğüm o "aperiyodik kristale" oldukça yaklaşmıştır. Dolayısıyla, organik kimyacılar, yaşam sorunu-nun çözümünde şimdiden büyük ve önemli katkılarda bulun-muşken fizikçilerin neredeyse hiçbir şey yapmamış olması şaşırtıcı değildir.