

“

Fiziğin Çifte Ödüllü İsmi:

**JOHN
BARDEEN**

John Bardeen

Merve Çaltır ve Dr. Adil Denizli

Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü, Beytepe, Ankara

John Bardeen, 20. yüzyılın ikinci yarısının tartışmasız en etkili bilim adamı/mucidir. Bilimsel keşifleri, icat içgüdüleri ve meslektaşları üzerindeki etkisi sayesinde, günlük hayatımızı çarpıcı biçimde değiştiren elektronik devrimini ve bilgi patlamasını mümkün kıldı. Bu nedenle, ABD Posta Servisi'nin onun onuruna pul bastırması tamamen yerindeydi. Bardeen gerçek bir Amerikan dehasıydı. Bilimsel dehayı saptamak, sanatsal dehadan daha kolay değildir. Sezgi, hayal gücü, geniş kapsamlı vizyon, önemli teknik becerilere dönüşen olağanüstü yerel yetenekler ve geleneksel bilgiye meydan okuma isteği ve yeteneği dahil ancak bunlarla sınırlı olmayan faktörlerin kombinasyonundan kaynaklanır. Belki daha da önemlisi, bilimsel deha, bir icat içgüdüüne, eldeki soruna odaklanma yeteneğine, birden fazla yaklaşımı bir araya getirme becerisine ve bu sorunu başarılı bir sonuca ulaştırmak için şiddetli bir kararlılığa bağlıdır. Transistörün mucidi ve mikroskobik süperiletkenlik teorisini geliştiren ekibin lideri Bardeen, tüm bu niteliklere sahipti. Fakat onu, 20. yüzyılın fizikteki diğer dahilerinden (Albert Einstein, Niels Bohr, Paul Dirac, Richard Feynman, Lev Landau, Wolfgang Pauli ve J. Robert Oppenheimer) ayıran şey neydi? Cevap sadece John'un iki Nobel Fizik Ödülü'nde (1956'da ve tekrar 1972'de verildi) değil, aynı zamanda olağanüstü alçakgönüllülüğünde, bilimin uygulanmasına olan derin ilgisinde ve bilim adamlarıyla kolayca işbirliği yapma konusundaki gerçek yeteneğinde yatıyor. Ayrıca, sadık ve sevgi dolu bir koca ve babaydı. 1938'de Jane Maxwell ile evliliği son derece mutlu bir birlikteliktir ve çocuklarına bilime olan tutkusunu aktardı. İki oğlu - Jim ve Bill - kozmoloji ve genel görelilik (Jim) ve yüksek enerji fiziği (Bill) üzerine çalışmaları NAS üyeleri olarak seçilmelerine yol açan seçkin teorik fizikçilerdir. Kızı Betsy, olağanüstü yetenekli bir deneysel düşük sıcaklık fizikçisi olan Tom Greytak ile evlendi ve 2000 yılında kanserden zamansız ölümünden önce teknoloji analisti ve danışman olarak aktif bir kariyer sürdürdü. Walter Brattain ile Bardeen, 1947'de Bell Laboratuvarlarında transistörü icat etti. On yıl sonra, genç Illinois Üniversitesi meslektaşları Leon Cooper ve Bob Schrieffer ile birlikte, süperiletkenliğin mikroskobik teorisini geliştirdi. Çalışmaları, o zamanlar sadece temel fizikteki en zorlu ve olağanüstü problemi çözmekle kalmadı. Çabaları ayrıca yoğun madde fiziği, nükleer fizik, astrofizik ve parçacık fiziğinde-

ki temel paradigmayı değiştirirken, süper iletken cihazların birçok pratik uygulamasının yolunu açtı. Ayrıca, Xerox'un (ve onun öncülü olan Haloid Company'nin) kilit bilimsel danışmanı olarak 30 yıllık bir süre boyunca, Bardeen kserografinin geliştirilmesinde önemli bir oyuncuydu, ilk Illinois Üniversitesi elektrik mühendisliği yüksek lisans öğrencisi Nick Holonyak ise, ışık yayan diyotu geliştirmeye devam etti. Bardeen'in ölümünün ardından, bugün onun onuruna özel bir sayı yayımlandı. Nisan 1992 sayısı, John'a arkadaşları ve meslektaşları tarafından paha biçilmez bir saygı kaynağı olmaya devam ediyor - Conyers Herring, Nick Holonyak, Gloria Lubkin, George Pake, Bob Schrieffer ve onu iyi tanıyan yazar; bu hatıra, büyük

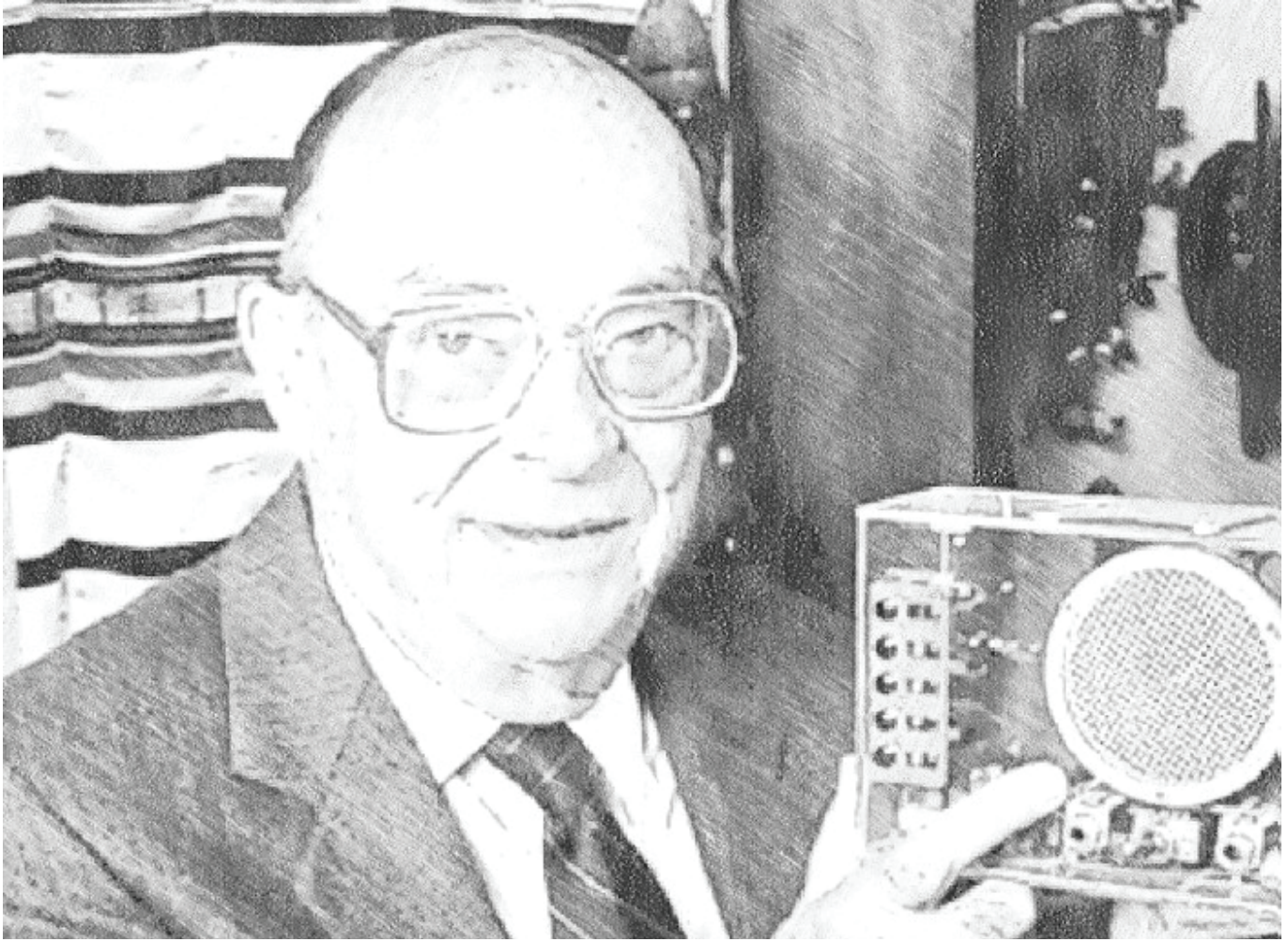


ölçüde bu hatıralardan yararlanıyor. Katkılarımızda vurguladığımız gibi, Bardeen, üstün fiziksel sezgiyi en yüksek düzeyde analitik yeteneklerle ve olağanüstü bir icat içgüdüsüyle birleştiren benzersiz yetenekli bir bilim insanıydı.

Aynı derecede olağanüstü bir insandı, sessiz, gerçekten alçakgönüllü, muazzam bir bütünlüğe ve tatlı bir ruha sahipti. Tüm bu niteliklerin tek bir bireyde bir araya gelmesi nadirdir. Bu nedenle, gençliğinde bunu mümkün kılan şeyin ne olduğunu sormak ve bu niteliklerin yaşamı boyunca nasıl ortaya çıktığını incelemek doğaldır. John, Charles ve Althea Bardeen'in beş çocuğundan ikincisiydi. Babası Charles Russell Bardeen, Johns Hopkins Tıp Okulu'nun ilk mezunu ve bugün Wisconsin-Madison Üniversitesi Tıp ve Halk Sağlığı Okulu'nun kurucu dekanıydı. Charles Bardeen ile evlenmeden önce annesi Althea Harmer, Pratt Enstitüsü'nde (Brooklyn, NY) doğu sanatı okudu ve John Dewey tarafından yaratılan Chicago Üniversitesi Laboratuvar Okulu'nun ilköğretim üyelerinden biriydi. Chicago'da iç tasarım yapmak için istifade etmeden önce beş yıl orada kaldı. Althea, ikinci en büyük çocukları John 12 yaşındayken öldü ve babası kısa süre sonra beş çocuğunu büyütmede yardım almak için yeniden evlendi. John, genel olarak öğrenme ve özellikle matematik için erken bir yetenek sergileyen bir çocuk dehasıydı. Dokuz yaşındayken ilkokulun üçüncü sınıfından doğrudan yedinci sınıfa atıldı. Ertesi yıl, John 10 yaşında, şehir çapında bir cebir yarışmasını kazandı. Madison's University High'ın yeterli laboratuvar olanakları olmadığı için John, üçüncü sınıftan sonra bir devlet (Madison Central) lisesine geçti. Orada iki yıl geçirdi ve iki yaş büyük kardeşi Bill ile aynı sınıftan 15 yaşında mezun oldu. John'un kişiliği, pek çok dahinin aksine, çağdaşlarından gerçekten farklı olma deneyimi tarafından şekillendirilmiş gibi görünmüyordu. Bir dizi faktör bu durumdan sorumlu olabilir: bir üniversite topluluğunda büyümek, geniş bir ailenin üyesi olmak, ağabeyine yakınlığı ve belki de en önemlisi, annesinin deneysel bir eğitimci olarak deneyimlerine dayanarak rehberliği. Kardeşi Bill, John gibi, sporla derinden

ilgileniyordu, ancak John'un aksine, biraz vahşi bir çizgideydi ve harika bir mizah anlayışıyla, geveze ve cana yakındı. Laurel ve Hardy filmlerinden esinlenen Bill ve John, her türlü jimnastik hilesini denediler. Bir gün John sekiz ya da dokuz yaşındayken, bir komşu John'un annesine John'un üçüncü kattaki bir pencere pervazından topuklarından asılı olduğunu bilip bilmediğini sormak için geldi. Ailesi, John'u okul ve okul sonrası yaşamlarını tamamen ayrı tutması için teşvik etti. Böylece liseden eve dönerek kendi yaşındaki ilkokul çocuklarının etkinliklerine katılırdı. Gerçek bir yeteneği olan sporla ilgilenmesi, sosyal dengesinin korunmasında önemli rol oynadı. John'un belki de babasından miras kalan ömür boyu süren golf tutkusu, oldukça gençken başladı. Üç yıl boyunca Wisconsin Üniversitesi'nde hem yüzme hem de su topunda üniversite takımlarını kuracak kadar iyi bir yüzücüyü ve bu başarılar, John'da en başarılı bilim adamlarını karakterize eden keskin rekabet duygusunun erken yaşta mevcut olduğunu gösteriyor. Görünüşte sessiz ve çekingen olmasına rağmen, John, ilgi alanları ve bakış açıları kendisinden oldukça farklı olan çağdaşlarıyla arkadaş olmak için gerçek bir yetenek gösterdi ve bu dostlukları hayatı boyunca sürdürdü. Üniversite yıllarında John, ailesinin evinden birkaç kapı ötedeki bir kardeşliğe katıldı ve "Kükreyen Yirmilerin" coşkulu kardeşlik yaşamına mutlu bir şekilde katıldı. Ücretlerini ve diğer üniversite masraflarını pokerde kazandığından ödedi, gençliği ve masum görünümü, kartlar için keskin bir his gizledi. Bu hünerini, 14 yaşında 1. Massachusetts Piyade Birliği'nde müzisyen olmak için İç Savaş'a giden ve savaş yıllarında pokerde kendi becerisinin hikâyelerini anlatan büyükbabası CW Bardeen'den almış olabilir. John'un "pratik bilgi"ye olan ilgisi onu elektrik mühendisliği ve daha sonra jeofizikteki problemlere odaklanmak için - aynı zamanda çok önemli bir yetenek gösterdiği alanlar. Üniversite çalışmalarını bitirmek için çok acelesi yoktu; Chicago'da Western Electric'te bir yaz işi o kadar ilginç buldu ki, 1928'de lisans derecesini aldığı Madison'a dönmeden önce bir yıl orada kaldı. John, elektrik mühendisliği alanında yüksek lisans çalışması için Madison'da kaldı. Jeofizik ve antenlerdeki uygulamalı problemler üzerinde çalıştıktan ve 1930'da yüksek lisans derecesini aldıktan sonra, en sevdiği elektrik mühendisliği/jeofizik profesörü Leo Peters'ı Pittsburgh'daki Gulf Research Laboratories'e kadar takip etti ve burada John kısa süre sonra petrol arama için yeni bir elektromanyetik yöntem icat etti. Yaklaşımı, 1980'lerin başında, icadından 50 yıldan fazla bir süre sonra nihayet kamuoyuna açıklandığında, John bana yöntemin yeterince yeni olduğunu ve Gulf'un rakip şirketlere karşı bir patent başvurusu sunarak bunu kamuya açıklamamaya karar verdiğini gururla söyledi. Depresyonun o ilk yıllarında, John, Gulf Laboratories'de birlikte çalışan iki arkadaşıyla Pittsburgh'da oldukça büyük bir daireyi paylaştı. John'un Körfez'deki dünyası, manastıra kapanık akademisyenlerin değil, petrol arama mühendislerinin dünyasıydı. Fred Seitz, 1930'ların ortalarında John ile Princeton'dan Madison'a yaptığı bir araba yolculuğu sırasında Pittsburgh'da durduğunu ve John'un petrol arayan arkadaşlarıyla yeniden bir araya gelmesiyle tamamen farklı bir Bardeen kişiliğinin ortaya çıkışını izlediğini anlattı. Gulf'ta geçirdiği üç yılın ardından John, matematik ve teorik fizik okumak istediğine karar verdi. Wisconsin'deki ve ardından Gulf'taki yakın arkadaşı Walter Dosterhoudt, karar anını şöyle anlatıyor: "John sandalyesini döndürdü... Üç yıl boyunca o kukla teçhizat üzerinde çalışan tembel alçaklar... Okula geri döneceğim ve doktora alacağım." dedi. Böylece John, yüksek maaşlı pozisyonundan (1933'te yılda 6.000 dolar büyük bir üniversite profesörlüğüne eşdeğerti) lisansüstü çalışmaya başlamak için ayrıldı. Doktora derecesini alabileceği gibi yanlış bir izlenimle Princeton Üniversitesi'ni seçti. Albert Einstein'ın altında çalışıyordu. Ancak, Princeton'a matematik alanında yüksek lisans öğrencisi olarak geldiğinde, 1933'te Princeton'a gitmek için Almanya'dan ayrılan Einstein'ın, yakınlarındaki oldukça farklı bir kuruma, artık yüksek lisans öğrencilerini denetleyemeyeceği İleri Araştırma Enstitüsü'ne katıldığını öğrendi. John, Fred Seitz'in diğer öğrenciler arasında olduğu Princeton's Graduate College'da yaşıyordu. John'a sadece üni-

versite öğrencisi olarak geldiğinde, 1933'te Princeton'a gitmek için Almanya'dan ayrılan Einstein'ın, yakınlarındaki oldukça farklı bir kuruma, artık yüksek lisans öğrencilerini denetleyemeyeceği İleri Araştırma Enstitüsü'ne katıldığını öğrendi. John, Fred Seitz'in diğer öğrenciler arasında olduğu Princeton's Graduate College'da yaşıyordu. John'a sadece üni-



versitenin matematik ve fizik bölümlerini gösteren ilk kişi değil, aynı zamanda katı hal yüzeylerinin davranışı üzerine tezi haline gelen bir proje için süpervizörü olan Eugene Wigner ile de tanıştıran Fred'di. Kimya mühendisi olarak eğitilmiş olmasına rağmen, Wigner temel fizikle ve özellikle grup teorik yöntemlerinin fizik ve matematiğe uygulanmasıyla derinden ilgilenmişti. 1930'ların ortalarında Princeton'da katı maddeler üzerine araştırma yapıyor olması bir tür tesadüftü; nükleer kütleler ve enerji seviyeleri üzerinde yapılan ve daha sonra yanlış olduğu ortaya çıkan bir deney, onu, çekirdeklerin davranışının kavrayamayacağı kadar tuhaf olduğuna ve başka bir şey üzerinde daha iyi çalışması gerektiğine ikna etmişti. Böylece Wigner dikkatini metallere çevirdi ve bunu yaparken, Seitz ile sodyumun elektronik yapısı üzerine çığır açan makalesinden başlayarak, bilim adamlarının metalleri anlamalarına bir dizi temel katkı yaptı. Bardeen ve Seitz'e ek

olarak Conyers Herring, Gregory Wannier ve Roman Smoluchowski gibi yeni ufuklar açan şahsiyetleri de içeren dikkate değer bir grup öğrenci yetiştirdi. Herring, Bardeen'e 1934'te Wigner yüksek lisans öğrencisi olarak katıldı ve o, Proctor Hall'da John'la sık sık akşam yemeği yerken,

İkimizin de konuşmaları başlatmakta özellikle cansız olması, bu nedenle tanışıklığımızın yemek zamanında çok hızlı gelişmedi. Neyse ki başka bağlantılarımız vardı. Özellikle ilginç olan şey, o zamanlar doçent olan Edward Condon'ın fizikte şu anda popüler olan konuların tartışılması için başlattığı bir dizi gayri resmi toplantıydı. O akademik yıl, katılımcılar genellikle Condon, Seitz, Bardeen, [Herring] ve öncelikle bir deneyci olmakla birlikte, teorik konularda büyük bir yeteneği ve ilgisi olan John Blewett'ten oluşuyordu. Tipik olarak bir seans, Nassau Inn'de biraz bira içmek, Condon'ın ofisinde birimizin fizik sunumları ile biraz tartışma

arasında bölünürdü. Bardeen'in sırası geldiğinde, bize sodyum yüzeyi konusundaki tezinden bahsetti. John, Wigner ve Seitz tarafından az önce tanıtılan kuantum-mekanik yöntemleri, bir sodyum metal yüzeyinin elektronik çalışma fonksiyonunun sıfır sıcaklıkta ilk prensip hesaplamasını mümkün kılacak şekilde genişletmeyi taahhüt etmişti. Çalışmaları, akıl hocası Wigner'ın çalışmalarına dayansa da, Wigner'ın daha sonra tanımladığı gibi, yaklaşımı çok bağımsızdı ve kendi kendini yönetiyordu. John, yaptığı şeyi abartmak için hiçbir girişimde bulunmadı ve o zamanki tepkim, bu kadar açık bir şekilde zeki bir zihnin böylesine karmaşık bir hesaplama saptandığını görmekten üzüntü duymaktı. Sadece yıllar sonra, onun çalışmalarını dikkatle inceleme fırsatı bulduğumda, onun içgörülerinin derinliğini ve karmaşık ayrıntılarla yüzleşmedeki cesaretini fark ettim.

Bu kavrayışlardan biri, metalin vakumla birleştiği yüzeyde oldukça homojen olmayan bölgede metal elektronlarının atmosferdeki davranışına yaklaşımıydı. Bardeen, pozitif yükün çekirdeklerde lokalize olmadığı, ancak keskin bir düzlem sınırı ile metal üzerinde düzgün bir şekilde dağıldığı bu davranışı tedavi etmek için basit bir oyuncak modeli (Herring'in daha sonra "jellium" olarak adlandıracağı) geliştirdi. Bardeen'in elektronik yük dağılımını hesaplamak için seçtiği şema, esasen, Pauli ilkesi tarafından üretilen değişim etkilerini ve elektronlar arasındaki Coulomb itmesinin getirdiği korelasyon etkilerini dahil ettiği, kendi içinde tutarlı bir alan yöntemi idi. Herring'in belirttiği gibi, "Bardeen'in hesaplama yaklaşımı,

enerjiye bağlı potansiyeller ve birçok yaklaşıklık kullanmasına rağmen, felsefesinde, Pierre Hohenberg ve Walter Kohn tarafından 1965'te tanıtilen modern yoğunluk-fonksiyonel tekniğe çarpıcı bir şekilde benzerdi, çünkü belirleyici bir dalga arıyordu." Bardeen Harvard'ın Fellows Derneği'nin ilk üyelerinden biri olmak için tezini bitirmeden (ertesi yıl sunuldu) 1935'te Princeton'dan ayrıldı ve Harvard'da üç yıl kaldı. Orada, basit metallerin ilk prensip hesaplamaları üzerine çalışmasına devam etti, kohezyon enerjisinin teorik hesaplamalarını ve diğer termodinamik özellikleri Harvard'da gerçekleştirilen deneylerle karşılaştırmak için Wigner-Seitz elektronik bant yapılarını hesaplama yönteminde Bri-

dgman'ın lityum ve sodyumun yüksek basınçlardaki davranışı üzerine iyileştirmeler yaptı. Daha da önemlisi, Bardeen elektron etkileşimlerinin etkisini daha ayrıntılı olarak incelemeye başladı ve Harvard'da kaldığı süre boyunca metallerdeki elektron etkileşimlerini içeren iki ufuk açıcı hesaplama yaptı. İlki, sodyumdaki elektron-fonon etkileşimleri üzerindeki etkileriyle ilgiliydi; onun ortalama alan yaklaşımı (ki bu, David Bohm ve yazar tarafından 1950'de tanıtilen rastgele faz yaklaşımının öncüsüydü), elektron-fonon eşleşmesi için matris elemanı üzerindeki etkilerini hesaplamasını ve elektron fonon ve elektronun birleşik etkilerini belirlemesini sağladı. Herring'in yazdığı gibi, "Bu hesaplama, daha önce kullanılan iki rakip teorinin yetersizliklerinin kesin olarak düzeltilmesini sağladı: 'sert iyon' ve 'deforme olabilir potansiyel' modelleri." Bardeen'in elektron etkileşiminin oynadığı rol, tek parçacık enerjileri ve özgül ısı üzerindeki etkisini keşfetmeyi amaçladı. Yalnızca bir Amerikan Fizik Derneği toplantısı için özet olarak yayınlanan çalışmasında, elektronlar arasındaki uzun Coulomb etkileşimi aralığı nedeniyle, tek parçacık enerjileri üzerindeki etkisini en düşük dereceli pertürbatifte dâhil etmeye çalışıldığında, bunu buldu; düzey-değişim veya Hartree-Fock düzeyi. Biri logaritmik olarak farklı bir sonuç elde eder; bu da logaritmik olarak sıcaklığa bağlı olan ve gözlemlenmeyen belirli bir ısıya yol açar. Bardeen, basit metallerin kohezyon enerjisinin herhangi bir hesaplamasında değişim ve gerçekten korelasyon terimlerini dahil etmek kesinlikle gerekli olsa da, bunu tek parçacık enerjileri için yapmak için doğrudan bir girişim, 15 yıl boyunca çözülmeyen bir paradoksu ortaya çıkarmıştı. 1938'in ortalarında Bardeen, üç yıl önce Pittsburgh'da tanıştığı bir fen bilgisi öğretmeni olan Jane Maxwell ile evlendi ve genç çift, John'un üniversitede fizik profesörü olarak bir pozisyonu kabul ettiği Minneapolis'e taşındı. Orada, metaller teorisine ilk prensipler yaklaşımı üzerine çalışmalarına devam etti, metal bir yüzeyin dışındaki bir elektron için görüntü kuvvetinin kullanımının kuantum mekaniğinde nasıl doğrulanabileceğini gösteren bir makale yazdı ve böylece daha önceki tez çalışmasını yerleş-



tirdi. Ayrıca fiziğin diğer alanlarında da yayın yapmaya devam etti. Harvard'da, yavaş nötron yakalama teorisi için önemli bir katkı olan, yüksek uyarımdaki nükleer enerji seviyelerinin ortalama yoğunluğu hakkında bir çift makale yayınlamıştı ve Minnesota'da da izotop ayırımı teorisi üzerine iki makale yayınladı. Bardeen Minnesota'dayken Jane, 1939'da ilk çocukları Jim'i doğurdu ve Bardeen orada süperiletkenlik üzerinde ciddi bir şekilde çalışmaya başladı. Çok düşük sıcaklıklarda dirençsiz elektron akışını sürdürmek için bazı metallerin mikroskobik bir süperiletkenlik teorisi geliştirmek, o zamanlar (ve neredeyse sonraki yirmi yıl boyunca) tartışmalı bir şekilde makroskopik kuantum fiziğinde göze çarpan problem idi. 1911'de Heike Kamerlingh Onnes tarafından keşfinden bu yana, süperiletkenlik için bir açıklama bulmak, Einstein ve Bohr'dan başlayarak esasen önde gelen her teorik fizikçinin dikkatini çekmişti, ancak Fritz ve Bohr kardeşler tarafından geliştirilen fenomenolojik teori dışında çok az ilerleme kaydedilmişti. Mayıs 1941'de Amerikan Fizik Derneği'nin Bahar (Washington, DC) toplantısında yaptığı bir konuşmanın özetinde Bardeen, süperiletkenlik için yaptığı ilk "yanlış" açıklama olarak tanımlanabilecek şeyi özetledi ve süperiletkenliğin küçük bir maddeden kaynaklanabileceğini öne sürdü. Momentum uzayında, ortaya çıkan süreksizliklerden elde edilen enerji kazancının, bozulmayı üretme maliyetinden daha ağır basacağı şekilde, momentum uzayında ince taneli bir bölge yapısı üretme kafesinin periyodik bozulması. Mükemmel diamanyetizmanın (bir süperiletkenin dış manyetik alanları) bu şekilde, temel durumlarına yakın elektronların yalnızca bir kısmı dâhil olarak ele aldı ve bunu gerçekleştirmek için gerekli elektron kafesinin gücünü tahmin etmek için basit metallerin öz dirençle ilgili daha önceki hesaplamalarını kullandı. Değerlik elektronlarının yüksek yoğunluğunun ve güçlü bir elektronfonon etkileşiminin süperiletkenlik için elverişli olduğu sonucuna vardı. Bu, yanlış nedenlerle haklı olduğu söylenebilecek oldukça ileri görüşlü bir argümandı. İkinci Dünya Savaşı, çoğu üniversite bilimcisini savaş çalışmasına yönlendirdi ve Bardeen de bir istisna değildi. Mart 1941'de, eski je-

ofizik meslektaşlarından birinin, Donanma Mühimmat Laboratuvarı'nda manyetik mayınlar ve torpidolarla ve bunlara karşı önlemlerle ilgilenen bir gruba başkanlık etmek üzere Washington'a gelmesi davetini kabul etti. Daha sonra, nükleer fizik ve izotop ayırımı konusundaki bilgisi onu, akıl hocası Eugene Wigner ve meslektaşı Fred Seitz'in aktif roller oynadığı Manhattan Projesi için doğal bir aday haline getirmesine rağmen, katılmaya davet edildiğinde Donanma Mühimmatında kalmayı reddetti. Laboratuvar, savaş boyunca mayınlar ve torpidolar üzerindeki çalışmalarına devam etti. Jane, Washington'da kaldıkları sırada iki küçük daha dünyaya getirdi, 1941 doğumlu Bill ve 1944 doğumlu Betsy. Savaşın sonunda, bilim adamlarının barış zamanında işlere alınması başladı ve John'un durumunda Bell Telefon Laboratuvarları (American Telephone & Telegraph'ın seçkin araştırma kolu), Minnesota Üniversitesi ile rekabet etmek için erken bir teklifte bulundu. 1945 yazında, savaş sona ererken, Bell Laboratuvarları başkanı Mervin Kelly, kuantum teorisinin mümkün kıldığı atom düzeyinde katıların anlaşılmasını uygulayacak disiplinler arası bir katı hal departmanı için planlar formüle etmişti. William Shockley ve Stanley O'Morgan'ı, telefon iletişiminin sorunlarına aşına olan kimyagerler, fizikçiler ve mühendislerden oluşan yeni bir bölümün eş başkanları olarak atadı ve Kelly ayrıca Shockley ile çalışmak üzere bazı önde gelen teorisyenleri bu bölüme dâhil

etmeye çalıştı. Harvard günlerinden beri Bardeen, doktora derecesini almış olan Shockley tarafından çok iyi biliniyordu. 1936'da MIT'de ve John gibi, Society of Fellows'un bir üyesi olan Jim Fisk o zamanlar kilit bir personel üyesiydi, ancak kısa süre sonra araştırma müdür yardımcısı ve 1959'da Bell Lab'in Başkanı olacaktı. Bu nedenle John, bu yeni oluşturulan pozisyonlardan biri için büyük olasılıkla onların bir numaralı adayıydı. Bardeen bir iş görüşmesi için Bell Laboratuvarlarına geldiğinde, ev sahiplerine sonraki kariyerinde öncelikle katı hal fiziğine mi yoksa nükleer fiziğe mi odaklanacağına karar vermeye çalıştığını söyledi. Nihai karar katı hal ve Bell içindi ve 1945 sonbaharında o, karısı Jane ve üç küçük çocuğu, önümüzdeki altı yıl boyunca kalacakları New Jersey'deki Summit'e taşındı. Bell Laboratuvarlarında yer sıkıntısı vardı, bu yüzden Bardeen Walter Brattain ve Gerald Pearson ile bir ofis paylaştı ve onlarla yarı iletkenler konusunda bir işbirliğine başladı. Bardeen'in Bell'deki ilk yıllarına ilişkin kendi açıklaması:

Uzun vadeli bir hedef, vakum tüpünü değiştirmek için yarı iletkenli bir yükseltici cihaz yapmaktı. Sonuç, esasen üç elektrotlu bir elektrik valfi olan transistör oldu, öyle ki birine uygulanan bir voltaj, diğer ikisi arasında akan akımı kontrol etmek için kullanılabilir. Savaş sırasında radar dedektörleri olarak kullanılmak üzere diyotlar olarak germanyum ve silikonda önemli bir

“

Uzun vadeli bir hedef,
vakum tüpünü değiştirmek için
yarı iletkenli bir yükseltici cihaz yapmaktı.

Sonuç,
esasen üç elektrotlu bir
elektrik valfi olan transistör oldu.

gelişme olmuştu. Element oldukları için saflaştırılmaları daha kolaydı ve özellikleri bileşik yarı iletkenlere göre daha kolay anlaşılırdı. Çabalarımızı, daha sonra makul derecede saf polikristal külçeler biçiminde mevcut olan bu malzemeler üzerinde yoğunlaştırmaya karar verdik. Shockley, şu anda ince film alan etkili transistör olarak bilinen şeyi önermişti, ancak böyle bir cihaz yapmak için yapılan ilk girişimler başarısız oldu. Savaş sırasında hiçbirimiz yarı iletkenler üzerinde çalışmamıştık, bu yüzden meydana gelen gelişmeleri öğrenmek için can atıyorduk. Çalışılacak yeni materyaller ve anlamaya yardımcı olacak yeni kavramlarla, yarı iletken araştırmalarına dâhil olmak çok heyecan verici bir zamandı. Nelerin başarılı olduğunu öğrenmek için Bell Laboratuvarlarının çalışma grupları oluşturma geleneğini izledik. Araştırmaya katılanlar, bilimsel işbirlikçilerin yanı sıra sosyal olarak iyi arkadaşlardı. Brattains, yinelenen bir briç kulübünün aktif üyeleriydi. Walter ve ben Bell Laboratuvarlarında düzenlenen briç oyunlarında ortaklık. Aynı zamanda hevesli golfçülerdik ve birlikte birçok

maçtan keyif aldık. Farklı yerlerde yaşadığımızda, yurtiçinde ve yurtdışında bilimsel konferanslarda bir araya geldiğimizde bir tur golf oynamaya çalışırdık.

Brattain, "Bu grubun yakınlığını ne kadar vurgulasam azdır" diye anlatıyordu. "Önemli adımları tartışmak için bir öğleden sonra bir araya gelecektik. Her şeyi özgürce tartışırdık, bir kişinin sözleri diğerine bir fikir önerir. Bu grubun varlığı sırasında pek çok şeyin kalbine gittik ve her zaman deneysel veya teorik bir şeyler yapılması gereken yere geldiğimizde, grupta yapılacak uygun adamın kim olduğu konusunda hiçbir soru yoktu." Bardeen şunları ekledi: Deneyciler ve teorisyenler arasındaki yakın işbirliği, deneyin tasarımından sonuçların analizine kadar araştırmanın tüm aşamalarını kapsıyordu. Çoğu makale bir deneyci ve bir teorisyen tarafından ortaklaşa yazılmıştır. Brattain yüzey ve arayüz fenomeni üzerinde yoğunlaşırken, Pearson bir yarı iletken kütledeki akım akışı üzerinde yoğunlaştı. ... Bir yarı iletkendeki akım iki farklı şekilde taşınabilir: iletkenlik

elektronları ile değerlik bağlarına uymayan ekstra elektronlar ve deliklerle, değerlik bağlarından elektronların eksik olduğu yerler. Birincisi, bir elektron negatif yükünden n-tipi olarak adlandırılır ve ikincisi de p-tipidir. Silikon ve germanyum iki kutupludur; mevcut safsızlıkların doğasına bağlı olarak n-tipi veya p-tipi olabilirler. Termal uyarma veya ışıkla (fotoiletkenlik), elektronlar değerlik bağlarından uyarılabilir, bu da iletkenliğe eklenecek eşit sayıda iletim elektronu ve delik verir. Araştırma sırasında keşfettiğimiz şey, iletkenliğin aynı şekilde uygun bir temastan gelen akım akışıyla -bipolar transistörün prensibi- artırılabilir. Hem alan etkisi hem de bipolar prensipler günümüz transistörlerinde ve entegre devrelerde kullanılmaktadır. Bipolar prensibin keşfine ve nokta temaslı transistörün icadına yol açan deneyler Aralık 1947'de yapıldı. Nokta temaslı transistör, küçük bir blok bloğunun üst yüzeyinde iki metal (kedi bıyığı) kontakten oluşur. Germanyum, tabanda geniş alanlı düşük dirençli bir kantağa sahiptir. Her nokta te-



ması kendi başına tabana göre doğrultucu bir temas oluşturur. Biri, emitör, kolay akış yönünde eğilimlidir; diğeri, toplayıcı, ters yönde daha yüksek bir gerilime eğilimlidir. Yayıcı ve baz arasında uygulanan bir sinyal, toplayıcı ve baz arasında güçlendirilmiş biçimde görünür.

Transistöre yol açan araştırmalarda önemli bir rol, yüzey durumlarının oynadığı roldü. Bardeen, tez çalışmasında elde ettiği metallerdeki davranışları hakkındaki bilgisine dayanarak, bir yarı iletkende bunların hareketsiz olabileceğini ve yalnızca bir yarı iletkenin içini harici bir diyot alanından perdelemek için değil, aynı zamanda bir ters çevirme üretmek için de hareket edebileceğini fark etti, katman, yüzeye çok yakın bir bölge ve iç kısmında baskın olanın işaretine zıt olarak yüksek yoğunluklu mobil yük taşıyıcıları. Herring'in yazdığı gibi: Bir ters çevirme katmanındaki delikleri itmeyi ve böylece yüzeye yakın katmanların iletkenliğini azaltmayı amaçlayan bir deney, bunun yerine komşu bir sonda elektrotu tarafından görülen iletkenliği artırmak için ortaya çıktığında, Bardeen ve Brattain sonuca bir varmak zorunda kaldılar. Yeni bir fenomenin (delik enjeksiyonu) meydana geldiğini söylendi. Başka bir deyişle, n-tipi bir yarı iletkenin yüzeyi ile temas halinde olan pozitif taraflı bir metal elektrot, esas olarak azınlık taşıyıcılar tarafından taşınan bir akımın ikincisine akmasına neden olur, bu durumda delikler, elektronlar yerine yarı iletken hareket eder. Enjeksiyon tipi bir metal nokta kontağı aracılığıyla yönlendirilen ileri akım tarafından enjekte edilen deliklerin, aynı azınlık taşıyıcılarından etkilenmeye yetecek kadar yakın olan başka bir nokta kontağının direncini azaltabileceğini anladıklarında, Bardeen ve Brattain hemen harekete geçtiler ve iki nokta temasının birbirine son derece yakın olacağı bir deney tasarlamak ve nokta temaslı transistör doğdu. Yaklaşık bir hafta içinde (bu ilk keşiften sonra), bir grup yöneticiye, konuşulan bir ses sinyalinin çok dikkat çekici bir amplifikasyonunu gösterebildiler. Kapsamlı bir pratik geliştirme programı elbette hemen başlatıldı ve açıkçası yeni cihaza bir isim verilmesi gerekiyordu. Adlandırmanın iyi bilinen hikâyesi, mantık ve coşkun bir

leştığinin güzel bir örneğidir. Bir isim arayışında danışılan kişilerden biri, çoğunlukla mikrodalga cihazları için vakum tüpleriyle ilgilenen bir mühendis olarak yarı iletken çalışmasına katılmamış olan John Pierce idi. Ancak mühendislik bakış açısından, Bardeen ve Brattain'in icat ettiği şeyin, girdi ve çıktıyla ilgili belirli matris katsayılarıyla doğrusal bir yaklaşımla tanımlanabilen üç terminallli bir cihaz olduğunu biliyordu. Cihaz normal olarak kullanıldığından, en önemli özelliği, emitör akımındaki bir değişikliklikle kolektör voltajının değişmesiydi - başka bir deyişle, bir 'transdirenc' katsayısı. "Direnc", "termistör" ve "varistör" gibi zaten yaygın olarak kullanılan sözcükleri hatırlatan Pierce, Brattain'in bir adla ilgili sorusuna yanıt olarak tereddütle ağzından çıkan sözcükleri söyledi. Sonunda düşünceli bir şekilde, 'Transkondüktans... transdirenc...transistör' dedi. Brattain hemen, 'Pierce, bu kadar!' dedi.

Yarı iletkenler ve yarı iletken cihazlar üzerinde çalışırken, bunu yapmanın giderek daha zor olduğunu gördü. Böylece, 1950 başlarında Bernard Serin'den bir telefon görüşmesinde, kurşunun süperiletken geçiş sıcaklığına izotop etkisinin (süperiletken geçiş sıcaklığının izotopik kütleinin ters kareköküne bağımlılığı) keşfini öğrendiğinde, Serin'in Rutgers'daki deneyleri ve Emanuel Maxwell'in Donanma Araştırma Laboratuvarı'ndaki grubu tarafından yapılan benzer deneyler, kuantize kafes titreşimlerinin -fononların- süperiletkenliği meydana getirmede yer alması gerektiğini doğruladı. Ama nasıl? Bardeen ve bağımsız olarak (ve Serin-Maxwell sonucundan önce) İngiliz teorisyen Herbert Frohlich, temel fiziksel etkinin, temel durum konfigürasyonlarına yakın elektronların bir kısmının öz enerjisinde fonon kaynaklı bir değişiklik olması gerektiğine karar verdi ve her iki araştırmacı da fikirlerini 1950'nin başlarında yayınladı. Ancak hiçbirinin bunun dirençsiz akabilen ve harici manyetik alanları "mükemmel" perdeleyebilen tutarlı bir madde halinin oluşumuna nasıl yol açabileceğini gösteremedi. Dolayısıyla bu yaklaşım, Bardeen'in bu dikkate değer kuantum fenomeninin mikroskobik bir teorisini geliştirmeye yönelik ikinci "yanlış" çabası

olduğu ortaya çıktı. Bu dönemde, 1950 baharında, haftada bir kez Princeton'a yarı iletkenlerin fiziği üzerine bir seminer vermek için gelen Bardeen ile ilk kez tanıştım. Princeton lisansüstü öğrencileri olan bizler arasında Bardeen zaten bir efsaneydi, Wigner'in en iyi öğrencisi olan ve transistörü icat etmeye giden son derece yetenekli genç bir teorisyendi. Bardeen'in yarı iletkenler üzerine verdiği dersler akılda kalıcı değildi, ancak onun tipik anlatım tarzıydı. Net, bilgilendirici, alçak tonlu, yumuşak bir şekilde konuşuldu ve çok az vurgu yapıldı. (Bu seminerin notları, Nick Holonyak'ın Physics Today makalesinde açıklandığı gibi, Bardeen'in Illinois Üniversitesi'ndeki Urbana-Champaign'deki ünlü elektrik mühendisliği kursu EE-PHYS 435'in temelini oluşturdu.) Bu haftalık ziyaretlerin öne çıkan bir kısmı Bardeen'in tartışmalarıydı. Bu konuşmalar sırasında, John'un metallerdeki elektron etkileşimleri üzerine ilk çalışmalarını da tartıştık. Her zaman yeni fikirlere açık olan John, metallerde tarama ve plazma salınımlarına yönelik yaklaşımımızı sürdürmemiz için bizi cesaretlendirdi ve bu, daha sonra serbest elektron modelini Coulomb etkileşimlerini hesaba katacak şekilde genişletmede bulunduğu zorlukları çözdüğü ortaya çıktı. Elektron öz enerjisindeki bir değişikliğin kendi başına süperiletkenliğe yol açmayacağı onun için giderek daha açık hale gelse de, Bardeen Bell Laboratuvarlarında elektronların kafes titreşimlerine bağlanmasının önemli bir rol oynayabileceği yollar üzerinde çalışmaya devam etti. Bununla birlikte, oldukça tatmin edici olmayan bir atmosferde çalışıyordu (hala Shockley'in grubunun bir üyesiydi ve Shockley ona deneylerle çalışma özgürlüğü vermiyordu), bu yüzden Bardeen başka yerlerdeki fırsatları keşfetmeye başladı. Katı hal fiziğinde bir gruba liderlik etmek için 1949'da Illinois Üniversitesi'ne taşınan eski arkadaşı Fred Seitz'e Bell Laboratuvarlarından ayrılmaya hazır olduğunu söylediğinde, Seitz çabucak bir teklif hazırladı. Elektrik Mühendisliği Bölümü ve Fizik Bölümü - Bardeen'in Ul'de kendisine katılması içindi ve Bardeen kabul etti. Bardeen'in Bell Laboratuvarından ayrılma nedenleri, 24 Mayıs 1951'de başkanı Mervin Kelly'ye gönderilen bir notta ayrıntılı olarak açıklandı. Tarihi önemi ve

Transistörün icadı,

yarı iletken programının benim

etkin bir rol alamayacağım

şekilde düzenlenmesine ve yönetilmesine neden oldu.



John Bardeen'i anlamakla ilgisi göz önüne alındığında, transistörün icadı hakkındaki bakış açısı ve bu keşfin ardından Bell'deki çalışma koşulları için, bu notu burada bütünüyle yeniden sunuyorum:

Aşağıda, Laboratuvarı terk etme kararıma yol açan koşulların bir açıklaması yer almaktadır. Nihai karar verilmeden önce sizinle bir görüşme yapmayı ummuştum, ancak önce kararı daha düşük bir düzeyde araştırmak istedim. Bown, Fisk, Morgan ve Shockley ile konuştuktan sonra ve sizinle konuşma fırsatı bulamadan, önümüzdeki sonbaharda Illinois'de başlayıp başlamayacağıma karar vermem gereken zaman geldi. Illinois'deki pozisyon çok çekici. Hem fizik hem de elektrik mühendisliği bölümlerinde olacağım. Öğretim yükümlülükleri minimumdur; muhtemelen sadece bir ders vereceğim ve bu benim seçimim olacak. Mevcut plan, katıların elektriksel özellikleri üzerine bir ders vermektir. Kendi araştırmam, en azından önümüzdeki yıl için, büyük olasılıkla süperiletkenlik üzerine olacak. Elektrik mühendisliğindeki faaliyetler esas olarak öğretimle sınırlı olacaktır. Finansal beklentiler Laboratuvarlardaki kadar iyi görünüyor. Yine de buradaki koşullardan memnun kalmazaydım buradan ayrılmazdım. Aslında, laboratuvarlardan ayrılmayı düşündüğümün bilinmesine izin vermeseydim, teklifi almazdım. Fisk birkaç ay önce akademik çalışmayı ve o sırada aldığım başka bir teklifi ciddi olarak düşündüğümü biliyordu. Zorluklarım transistörün icadından kaynaklanıyor. Ondan önce burada mükemmel bir araştırma or-

tamı vardı. Kendi işim, seçime bağlı olarak yarı iletkenler alanındaydı. Savaş sırasında hiçbirimiz sahada çalışmamıştık. Shockley, yarı iletkenler üzerindeki çalışmaların başlatılmasında etkili oldu ve bununla oldukça ilgiliydi, ancak asıl ilgi alanı kendi araştırmasında idi. Buluştan sonra, Shockley ilk başta gruptaki (1170) herhangi birinin problem üzerinde çalışmasına izin vermeyi reddetti (yani Brattain, Gibney ve benim dışımda) ve sonra bunu sadece kendi problemlerini düşündüğü için yaptı. Deneysel olarak araştırılmasını istedi. Çoğu durumda bunlar, hâlihazırda bazı teorik çalışmalar yapmış olduğu veya gelecekte bazı teorik çalışmaları kendisi yapmak istediği problemlerdi. Kısacası, grubu büyük ölçüde kendi fikirlerinden yararlanmak için kullandı. Kendi işim büyük ölçüde teorik olduğu için, amirimle doğrudan rekabet içinde çalışmak istemediğim sürece deneysel programa katkıda bulunamazdım, bu tahammül edilemez bir durum. Bu bilinçli bir politikaydı. Shockley'nin kendisi durumun farkındaydı ve bana bunun olmasını istediğini birçok kez belirtti. Morton'un grubuyla ya da Ohl ile çalışmamı önerdi ama bu çözümler doğal olarak bana çekici gelmedi. Bu politika, yarı iletken araştırma programında aktif bir rol oynayamayacağım ve Shockley'nin ilgilenmediği birkaç problem üzerinde (örneğin, Briggs'in kızılötesi absorpsiyon konuda olduğu gibi) doğrudan çalışabileceğim anlamına geliyordu. Brattain çalışıyordu. Bu nedenle, yaklaşık iki yıl önce, çok daha uygun olmayan koşullarda laboratuvarlardan ayrılmayı ciddi olarak düşündüm. O sırada Bown ile önceki pa-

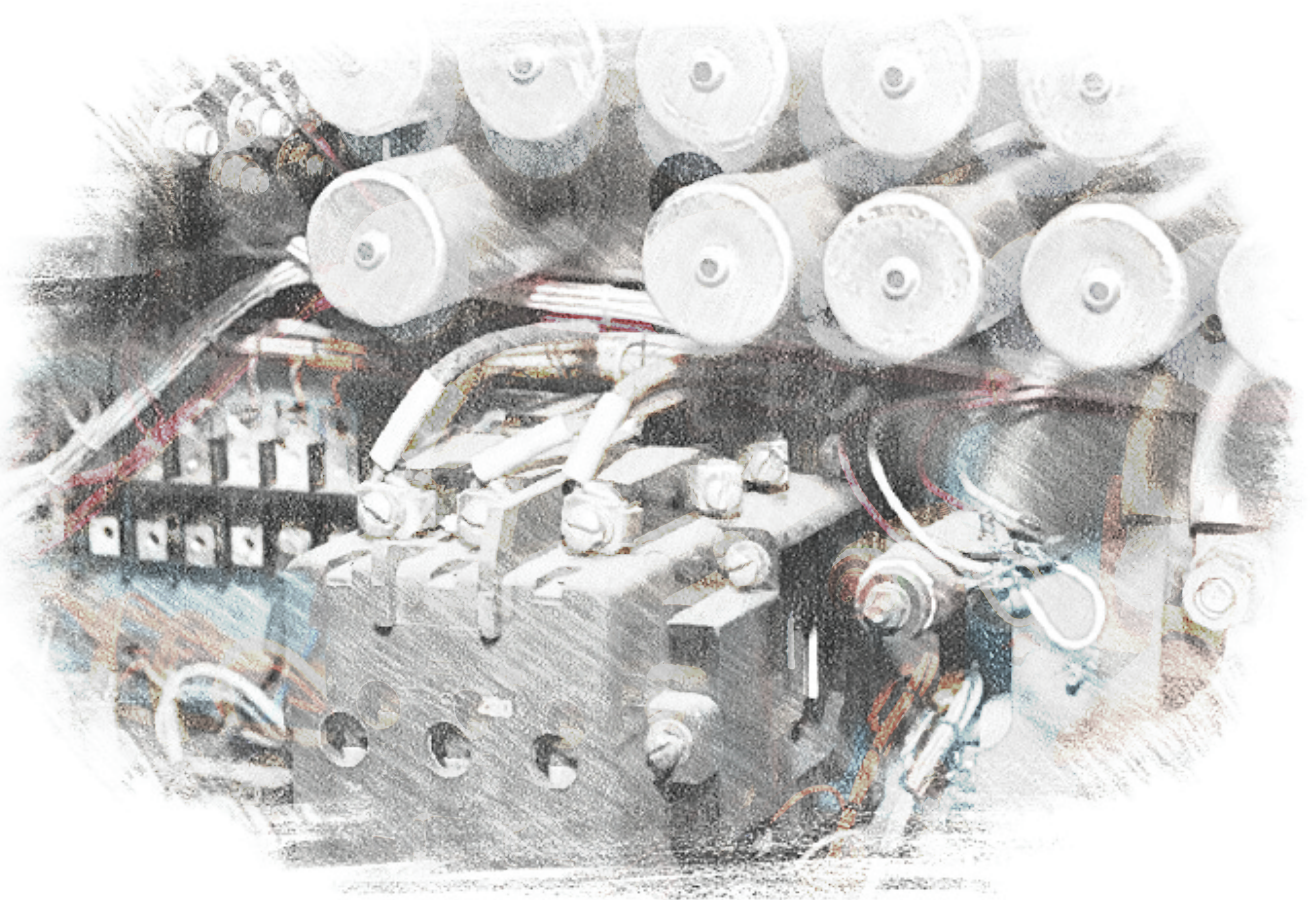
ragraflarda özetlenen güçlükleri tartıştım. Bown'un tepkisi, Shockley'nin oldukça duygusal bir durumda olduğu (o sırada haftada 70 saat veya daha fazla çalışıyordu) ve zorlukların zamanla çözüleceğiydi. Bu ve sonraki konuşmalarında, yönetimin Shockley'e izin verme arzusu olduğunu açıkça belirtti. Yaklaşık bir yıl önce yarı iletkenler üzerine çalışmayı bırakıp süperiletkenlik üzerine çalışmaya karar verdim. O sırada Fisk ile tartışılan bu karar, ben izotop etkisini öğrenmeden önce verilmişti (ki bu da etki teorisinin ilerlemesi gereken yönü gösteriyordu), ancak aslında süperiletkenlik üzerinde daha sonra çalışmaya başlamadım. Geçen yıl üzerinde çalıştığım teori, izotop etkisine dayanıyor ve savaştan önce üzerinde çalıştığım teorisinin bir ürünü. Laboratuvarlarda sorunla ilgilenen çok az insan olduğundan, burada süperiletkenlik üzerinde çalışırken kendimi biraz izole hissettim. Bown ve Morgan, bazı deneysel çalışmaların başlatılmasını önerdiler ve bu hiç şüphesiz arzu edilir bir şey. Ancak bir üniversitede süperiletkenlik üzerinde daha etkili çalışabileceğimi hissediyorum. Sorun, pratik öneminden çok bilimsel bir sorundur ve akademik çevrelerde büyük ilgi görmektedir. Ayrıca, bir üniversitede burada yapabileceğimden daha uygun koşullar altında yarı iletkenler üzerinde çalışabileceğim. Ayrılma kararını vermeden önce, Shockley ile yarı iletken programı üzerinde çalışma olasılığımı tekrar araştırdım. Tutumu değişmedi. Gerekli tüm fikirleri sağlayabileceğimi, grubundaki insanların fikirleri üzerinde çalışmasını isteyeceğimi ve bu durumda mutlu olmayacağımı hissetti. Çeşitli zamanlarda benim yönetimim altında bağımsız bir yarı iletken grubunun kurulması önerildi, ancak bunun benim açımdan tatmin edici bir çözüm olduğunu düşünmedim. Shockley ile yaptığı görüşmede, çalışmanın önemli bir kısmından vazgeçmek istemediğini belirtti. Özetlemek gerekirse, transistörün icadı, yarı iletken programının benim etkin bir rol alamayacağım şekilde düzenlenmesine ve yönetilmesine neden oldu. Süperiletkenlik üzerinde çalışabilirdim, ancak bunu ikincil olmaktan ziyade birincil ilgi çeken bir üniversitede daha iyi yapabileceğimi hissediyorum. Ayrıca, kişinin kendi hızını belirleyebildiği üniversite çalışmasının,

yaşlandıkça nispeten daha arzu edilir hale geldiğini hissediyorum. Bu nedenle, hayatımın bu aşamasında taşınmak hem ailem hem de kendim için zor ve maliyetli bir iş olmasına rağmen ayrılmaya karar verdim. Hareket aynı zamanda yeniden bir emeklilik fonu oluşturmaya başlamam gerektiği anlamına da gelecek. Pek çok hoş birlikliği bırakıp, bozmuş olmanın pek çok pişmanlıkları vardır elbette. Burada yaptığım işler itibarımı artırdı, böylece laboratuvarlar dışında mükemmel bir pozisyon elde edebildim. Arzu ederseniz, konuyu sizinle daha fazla tartışmaktan memnuniyet duyuyorum.

Bardeen, elektrik mühendisliği bölümünde yarı iletken araştırmalarına ayrılmış bir laboratuvar kurabileceği ve süperiletkenlik üzerine teorik araştırmalarını fizik bölümünde sürdürebileceği anlayışıyla 1951 sonbaharında ailesiyle birlikte Urbana'ya taşındı. Illinois, Bardeen için çok mutlu bir ortam değişikliği ve mükemmel bir araştır-

ma ortamı sağladı; burada araştırma zamanını yarı iletkenler ve süperiletkenlik arasında nasıl tahsis etmek istediğine karar vermekte artık özgürdü. Her ikisi üzerinde çalışmak için üniversiteye ve yakında hükümet desteğine sahipti (Süper iletkenlik üzerinde çalışmak için Ordu Araştırma Ofisi'nden bir hibe ile). Bardeen'in bilime yaklaşımı, matematiksel becerileri ve içgörüsü, hayal gücü ve azmi, hiçbir yerde Illinois'de süperiletkenlik üzerine yaptığı çalışmalardan daha belirgin değildi. Doktora sonrası ilk araştırma görevlisi olarak, ofisinin köşesindeki bir masadan John'un 1952-55 döneminde soruna nasıl çok yönlü bir saldırı izlediğini gözlemleme fırsatı oldu. Bu arayışı açıklamadan önce, okuyucuya mikroskobik bir süperiletkenlik teorisi arayışının John'un bu dönemdeki faaliyetlerinden biri olduğunu hatırlatırım. 1952'de Nick Holonyak'ın ilk Enerji Verimliliği Doktorası olduğu elektrik mühendisliği bölümünde bir laboratuvar ve büyük bir yarı iletken araştırma grubu kurdu. 1953'te

John, Urbana'da korkunç bir sıcak hava dalgası sırasında iki hafta süren yarı iletken elektronik alanındaki ilk uluslararası yaz okulunu yönetti. Bu dönemde John ayrıca Haloid Corporation'ın başlıca bilimsel ve teknolojik danışmanı olarak giderek daha aktif hale geldi ve (yakında adı Xerox Corporation olacaktı) ve fizik danışmanı Bob Schrieffer'dan ilk doktorasını aldı. Urbana'da süperiletkenlikle mücadele ederken, Bardeen öncelikle deneysel literatüre daldı ve kendisini, ortaya çıkan temel deneysel gerçeklerin fenomenolojik bir tanımını geliştirmeye adanmıştı. 1955'te yazılan ve ertesi yıl Handbuch der Physik'te yayınlanan ustaca inceleme makalesinde, elektronik uyarım spektrumundaki bir enerji boşluğunun bu sonuçların çoğunu açıklayabileceğini gösterdi. İkincisi, Bardeen, temel durumun üzerinde uyarılan birkaç elektronun davranışını incelemek için yeni yöntemler geliştirmeye çalıştı; örneğin, bu elektronların karşılıklı etkileşiminin uyarım spektrumunda bir enerji boşluğuna nasıl



yol açabileceğini görmesini sağlayabilecek matris yöntemlerini araştırdı. Diğer iki yaklaşımla doğrudan ilgilendim. Bardeen, gerekli olabilecek yeni teorik teknikler arasında, kendisinin ve Frohlich'in benimsediği pertürbatif zayıf eşleşme yaklaşımının ötesine geçen bir çift elektron-fonon sisteminin tedavileri olacağına inanıyordu. 1952 yazında Urbana'ya geldiğimde, beni güçlü bir çiftleşme sorunu üzerinde çalışmaya teşvik etti - polar kristallerdeki elektronlar olan ve optik fononlara güçlü bir şekilde bağlanan polaronların davranışı. John bana okumam için Frohlich ve Solomon Pekar'ın bazı makalelerini vererek başladı. Kısa süre sonra, Tseung-Dao Lee ile (Urbana'da bölüm başkanı Wheeler Loomis'in UI'nin hükümet destekli gizli bir proje operasyonundan ayırdığı temel araştırma fonlarından kaynaklanan bir yaz randevusu vardı) ile yaptığı bir koridor sohbeti sırasında, TD'nin mezonla ilgili problemlerde uyguladığı

alan-teorik ara-bağlama yaklaşımının polaronlara uygulanabileceğini fark ettik. Pertürbasyon-teorik bir tedavinin ötesindeydi ve bunun üzerine değerli bir adım sağlayan sonuçlarımızı yazdık. Daha sonra Francis Low ile birlikte, bir elektrona eşlenen ardışık fononların aynı kuantum durumunda yayıldığı özellikle basit bir temel-durum dalga fonksiyonu ile ara eşleme çözümümüzün nasıl elde edilebileceğini gösterdik. Bu sıralarda, Frohlich şunu buldu: ikinci dereceden pertürbasyon teorisini kullanarak, bir çift elektron arasındaki fonon kaynaklı etkileşimin düşük uyarma enerjileri için çekiç olduğunu gösterdi. Bu sonuç oldukça ilginçti, ancak sağlam bir temele dayanmıyordu, çünkü Frohlich, elektronlar arasındaki çok daha güçlü Coulomb itmesini göz ardı etmişti. Büyük Sovyet teorik fizikçisi Lev Landau, "Coulomb yasasını görmezden gelemezsiniz" demeyi severdi. Bu yüzden Bardeen, daha önce başlamış olduğum, et-

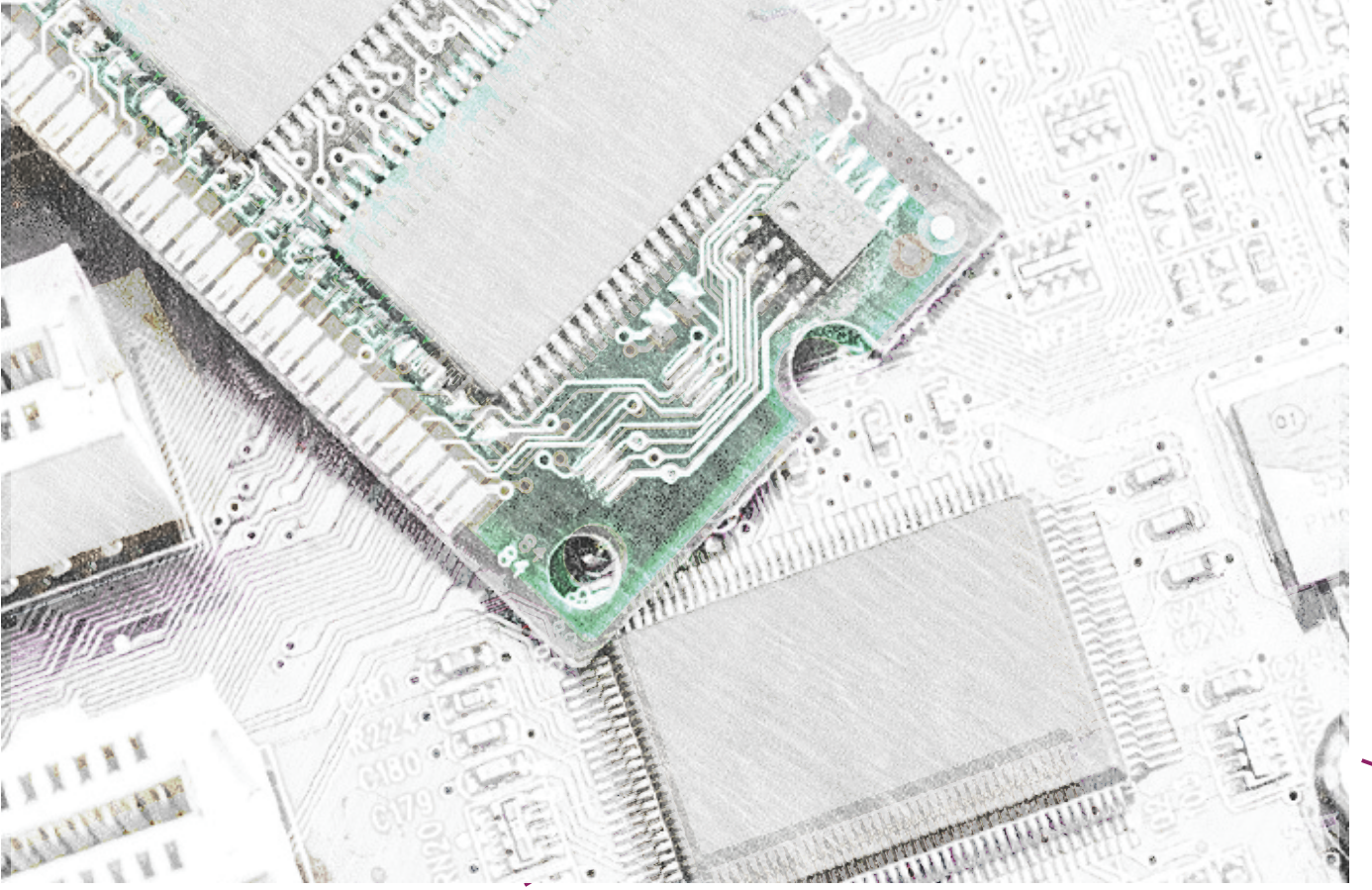
kileşen elektron-fonon sisteminin daha eksiksiz bir teorisini geliştirebilecek bir hesaplama üzerinde çalışmaya devam etmem için beni cesaretlendirdi. Doktora tezimde geliştirilen toplu tanımlamayı genişleterek bunu yapmayı hedefledik. Princeton'da David Bohm ile elektron-elektron etkileşimlerinin elektron-fonon etkileşimleri üzerindeki etkisini içeren bir tezdi. Bu cephede biraz ilerleme kaydettim ama kısa süre sonra sistem davranışının kendi içinde tutarlı bir açıklamasına ulaşamadığım için sıkışıp kaldım; sonra bir sabah John'a ilerleme eksikliğini anlatırken, elektron etkileşiminin uzun menzilli kısmını tanımlayan Bohm-Pines kolektif koordinatlarına fonon alanını tanımlayan bir terim eklemeyi düşünmemi önerdi. Bu umut verici bir yaklaşım gibi göründü ve sorun üzerinde birlikte çalışmaya başladık. 1954'ün başlarında, elektron-fonon ve elektron-elektron etkileşimlerinin



şan bir sistem üzerindeki birleşik etkilerinin rastgele faz yaklaşımı içinde tutarlı bir açıklamaya ulaştık. Ortaya çıkan fonon-dalgılım ilişkisi, Bardeen'in 17 yıl önce basit metallerdeki kafes titreşimleri üzerine çığır açıcı 1937 tarihli makalesinde hesapladığı gibi çıktı. Bu arada, etkin elektron-elektron etkileşiminin, Frohlich'in bulduklarına benzer özelliklere sahip olduğu da ortaya çıktı, ancak şimdi oyundaki tüm etkileşimler tam olarak hesaba katılmış durumdaydı. Enerjileri birbirinden tipik bir fonon enerjisinden daha az farklı olan elektron çiftleri için, şu anda mevcut ve düzgün bir şekilde taranan Coulomb etkileşiminden gelen itmeye rağmen, fonon değişiminin getirdiği çekici etkileşimin kazanacağını bulduk. Böylece net etkin elektron-elektron etkileşimi çekici olacaktır, ancak daha büyük enerji farkları için itici ekranlı Coulomb etkileşimi galip gelecek ve net etkileşim itici olacaktır. Coulomb etkileşiminin tam bir açıklaması şimdi dikkate alındığından, 1955'te yayınlanan makalemizde, bu etkileşime dayanarak mikroskobik bir süperiletkenlik teorisinin geliştirilebileceğini savunduk. Durum böyle oldu, ancak çok daha fazlası vardı ve yapılması gerekiyordu. Bardeen'in sezgisiyle dikkate değer bir uyum içinde, onun dört itmesinden her birinin (az sayıda elektron içeren matrisler, Bardeen-Pines etkin elektron etkileşimi, polaron probleminin ara bağlantı çözümü ve onun fenomenolojik teorisi) önemli bir rol oynadığı ortaya çıktı. Önümüzdeki iki yıl boyunca - Bardeen, yeni doktora sonrası Leon Cooper (1955 sonbaharında benim yerime geçti) ve yüksek lisans öğrencisi Bob Schrieffer tarafından başarılı bir mikroskobik süperiletkenlik teorisinin geliştirilmesine çalıştı. Bardeen, Cooper'ın özellikle David Shoenberg'in incelemesini okuyarak ve Handbuch der Physik incelemesinin taslağını Bardeen ile uzun uzun tartışarak, süperiletkenlik üzerine daha önceki çalışmalarını öğrenerek başlamasını önerdi. Cooper daha sonra, temel durum elektronlarıyla etkileşimlerinin Bardeen ve benim türetmiş olduğumuza benzer olduğu varsayımı altında, temel durumun üzerinde uyarılan bir çift elektronun davranışını incelemek için çoklu saçılma matrisi yaklaşımlarının kullanımını keşfetmeye başladı. 1956 sonbaharının başlarında

Cooper, böyle etkili bir çekici etkileşim için temel durumun bağlı elektron çiftlerinin oluşumu açısından kararsız olabileceğini buldu. Bu oldukça önemli bir sonuçtu: Bardeen-Pines-Frohlich varsayımını doğruladı. Fononların süperiletkenlikteki amacı elektronlar arasında çekici bir etkileşim meydana getirmektir ve zıt spin ve momentuma sahip alçak elektron çiftlerinin bu etkileşime özellikle duyarlı olduğunu gösterdi. Ancak mikroskobik bir teori hala el altında değildi çünkü uyarılmış tek bir çiftin anormal davranışından Fritz London tarafından tahmin edilen dış rahatsızlıklara karşı temel durumun katılığı da dâhil olmak üzere tutarlı davranış türüne nasıl geçileceği hiç açık değildi. 1956 sonbaharında Bardeen, kendisinin, Walter Brattain ve William Shockley'nin transistörün icadı için 1956 Nobel Ödülü'nü aldıklarını öğrendi. Bu, Bardeen'in Nobel konferansını bir araya getirmek için süperiletkenlik araştırmalarına ara vermesi ve ardından ödülü almak için İsveç'e gitmesi gerektiği anlamına geliyordu. Nobel ödüllü birçok kişi için ödülü almak, hayatlarının çalışmalarının bir doruk noktasını temsil eder ve sonraki yılları "Nobel devresi"nde bilgili toplumlardan ilkokul öğrencilerine kadar her kesimden izleyicilere yönelik çok sayıda ders talebine yanıt vererek geçirirler. Bardeen için ödül, buluşunun harika bir şekilde tanınması olsa da, Nobel ile ilgili faaliyetlere harcanan zaman, mikroskobik bir süperiletkenlik teorisini arayışından uzak kaldığı için, aynı zamanda büyük bir dikkat dağıtıcıydı. Bu nedenle, Stockholm'den döner dönmez Cooper ve Schrieffer ile çalışmasına yeniden başladı. Bu arayış kısa sürede ödüllendirildi. Physics Today makalesinde hatırladığı gibi, Schrieffer, bir süperiletkenin zeminini ve uyarılmış durumlarını tanımlayabilecek bir değişken dalga fonksiyonu bulmak için Bardeen ile birlikte çalışıyordu. Polaron probleminin uygulanması yoluyla, Sin-Itiro Tomonaga tarafından eşleşmiş mezon-nükleon problemiyle başa çıkmak için geliştirilen ara-çiftleme yaklaşımının farkındaydı. 1957 yılının Ocak ayının sonlarında, Hoboken, NJ'de "çok-beden teorisi" üzerine bir toplantının ardından New York City metro trenine binerken, Schrieffer bir "aha anı" yaşadı. Temel fiziğin, elektron

çiftlerinden (zıt spin ve momentumdan) oluşan makroskopik olarak işgal edilmiş tutarlı bir kuantum durumunun oluşumunda olduğunu varsayarak ve daha sonra Lee-Low-Pines ara kuplaj zemin durumu dalga fonksiyonunu tanımlamayı düşündü. Bu şekilde bir enerji boşluğunu ve bir yoğunlaşma enerjisini sistem süper iletken hale geldiğinde sistem için kazanılan enerjiyi hesaplayabileceğini buldu. Urbana'ya döndükten sonra Schrieffer, sonuçlarını Cooper'a ve ardından bunun süperiletkenliğe bir çözüm bulmak için doğru temel olduğunu hemen anlayan Bardeen'e gösterdi. Böylece, Bardeen, Cooper ve Schrieffer, büyük bir heyecanla, bu modelin bir süperiletkenin zemin ve uyarılmış durumları üzerindeki sonuçlarını çözmeye başladılar. Yaklaşık iki hafta içinde, kısa süre sonra BCS olarak bilinen mikroskobik teoriyi geliştirdiler ve 16 Şubat 1957'de, Physical Review Letters'da yayınlanmak üzere sonuçlarının kısa bir açıklamasını gönderdiler. Onların sonuçları, ikisinin mikroskobik tanımını içeriyordu. Süperiletken davranışı karakterize eden akışkanlar (süperakışkan ortalama boşlukları elektronlar arası boşlukla karşılaştırıldığında büyük olan elektron çiftlerinin yoğunlaşmasından oluşan, dirençsiz akan ve dış manyetik alanları eleyen tek bir makroskopik kuantum durumu) ve normal bir sıvı (sonlu miktarda enerjinin -enerji boşluğunun uyarılması için gerekli olan "çift-kıran" temel uyarılardan oluşur). Bu kuasipartiküller, normal elektronların yaptığı gibi birbirlerine ve safsızlıklara karşı saçılırlar. Araştırmacıların yeni teorisi, Urbana'da Charlie Slichter ve öğrencisi Chuck Hebel tarafından henüz tamamlanan bir ölçümün, bir malzeme süper iletken hale geldiğinde nükleer spin-kafes gevşeme oranındaki değişiklik üzerine oldukça şaşırtıcı sonuçlarını da açıklayabildi. Süperiletken durumun çeşitli özelliklerini hesaplamak için Schrieffer'in dalga fonksiyonunu kullanırken, Bardeen, Cooper ve Schrieffer, her aşamada Bardeen'in iki yıl önce dile getirdiği fenomenolojik tanım tarafından yönlendirildi ve çalışmaları hızla dikkate değer bir başarı olarak kabul edildi. Genç işbirlikçilerinin teori için önemli bir kredi almasını istemesi Bardeen'in tipik bir



örneğiydi. Bu amaçla, Philadelphia'daki Amerikan Fizik Derneği'nin Mart ayındaki toplantısında Cooper ve Schrieffer tarafından evde kalacakken teori üzerine son teslim tarihi geçmiş makaleler ayarladı. Cooper'ın sonuçlarını coşkulu bir izleyici kitlesine sunduğu (Schrieffer, kaçırılan bir tren/uçak bağlantısı nedeniyle orada değildi) bu toplantının ardından, üç meslektaş, bahar ve yaz başlarında teoriyi daha ayrıntılı olarak geliştirmek için yoğun bir şekilde çalıştılar ve çalışmalarının tam bir dökümünü 1957 yılının Temmuz ayının başlarında "Fiziksel İnceleme"ye sundular. Peki, Bardeen ve genç işbirlikçileri nasıl oldu da süperiletkenlik bilmesecini çözebildiler? Ne de olsa çözümü, o sırada sorun üzerinde çalışan birçok seçkin teorik meslektaş -özellikle Richard Feynman, Lev Landau, Fritz London, Herbert Frohlich, Vitaly Ginzburg, Lev Gor'kov, John Blatt ve MR Schafroth- gözden kaçırmıştı. Cevabı kısmen Bardeen'in deneysel gerçekleri anlamaya ve bunların fenomenolojik bir tanımını geliştirmeye yönelik vurgusunda ve

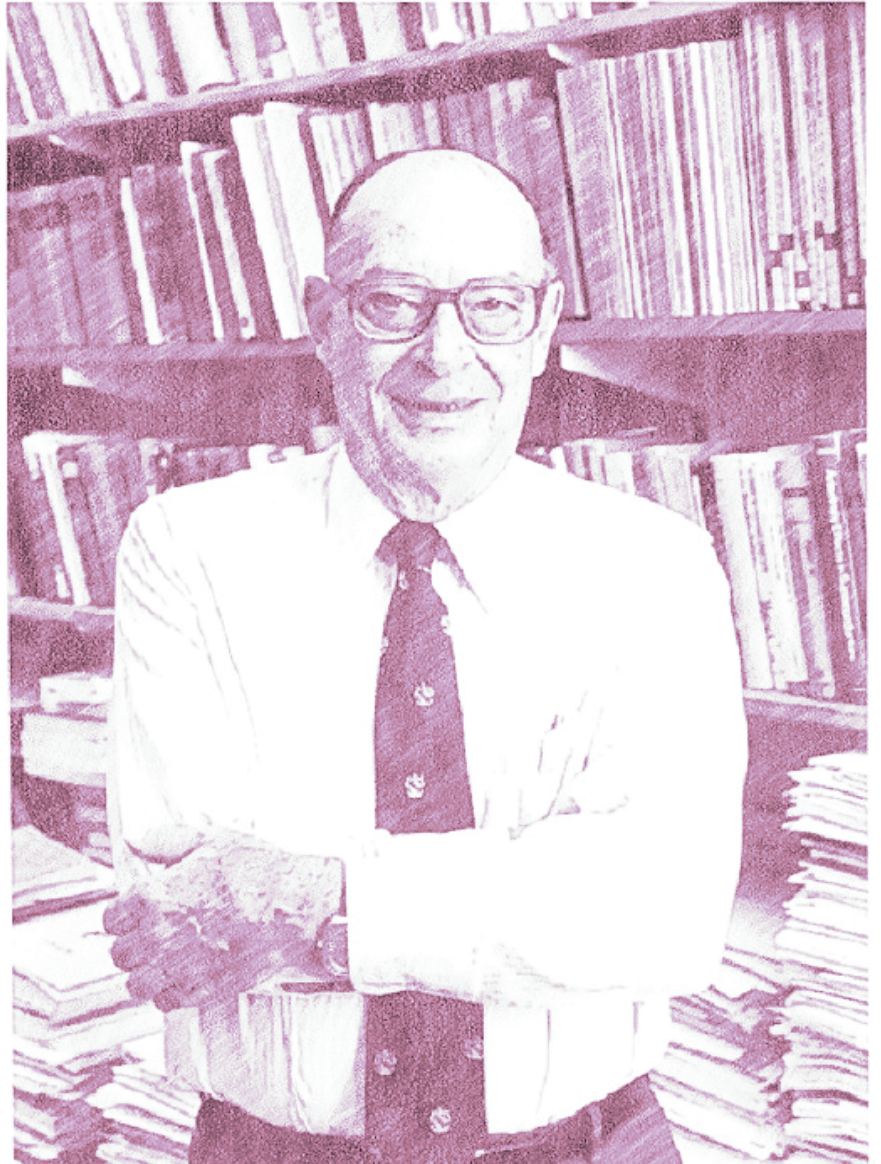
aynı zamanda genç meslektaşlarıyla bir dizi farklı teorik senaryoyu takip etmede bulunabilir. Aynı derecede önemli olan, sorunu çözme konusundaki tüm bağlılığı ve teorinin geliştirilmesinde bu kadar önemli roller oynayan genç meslektaşlarına verdiği teşvik, destek ve kendi fikirlerini takip etme özgürlüğüydü. BCS'nin hikâyesi, şimdi 20. yüzyılda fizik tarihinde yüksek bir noktadır. Yazarlarının 1972 Nobel Fizik Ödülü'nü aldığı teori, sadece süperiletkenler üzerinde mevcut tüm deneyleri açıklamakla kalmadı, aynı zamanda daha sonra doğrulanan bir dizi tahminde bulundu. Fiziğin diğer alanları üzerinde hızla bir etkisi oldu. 1957 yazında, temel BCS fikri -fermyonlar arasındaki net çekici etkileşimin her zaman makroskopik olarak dolu bir eşleşme durumuna yol açacağı- Aage Bohr, Ben Mottelson ve atom çekirdeğine uygulandı. Kısa bir süre sonra fikir Yoichiro Nambu ve Gianni Jona-Lasinio tarafından parçacık teorisi alanına alındı. Gerçekten de, iki yıl içinde BCS teorisinin başarılı olduğu o kadar açık hale gelmişti ki, David Shoenberg

giriş konuşmasında 1959'da Cambridge'de düzenlenen bir süperiletkenlik konferansında, klasik yorumunu yapmaya yönlendirildi: "Deneyin teorik gerçekleri ne ölçüde açıklayabileceğini görelim." BCS'yi takip eden yıllarda, teorinin süperiletkenlikteki çeşitli zorlu problemlere uygulamalarını sürdürmeye devam ederken Bardeen, yakında Xerox olacak Haloid ile ve hükümete danışmanlık yapmakla giderek daha fazla ilgilenmeye başladı. Haloid'in araştırma ve geliştirmeden sorumlu başkan yardımcısı John Dessauer'ın çok saygın bir danışmanıydı. George Pake'in yazdığı gibi, Bardeen'in Rochester, NY'a yaptığı sık ziyaretler sırasında, John [Bardeen] güçlü bir araştırma çabası çağrısında bulundu ve hükümet sözleşmelerinin makul bir şekilde kullanılmasının, bir şirket için orantılı olarak büyük olan araştırma çabalarını desteklemede acemi şirkete yardımcı olabileceğini öne sürdü. O zamanki küçük boyutuyla 1958'de, toplam nakit akışı 5 milyon dolardan azdı ve temel araştırmalar için neredeyse 2 milyon dolar bütçe ayırdı. John, bazı açılardan

kserografik teknoloji geliştirme çabasının bilimsel beyniydi ve hızla genişleyen araştırma ekibi için yeni işe alımların aday gösterilmesini ve seçilmesini etkiledi. ... 1960 yılında Haloid-Xerox'un Model 914 düz kağıt fotokopi makinesi olay yerinde patladı. Makine, ağırlıklı olarak Bardeen'in temel anlayışlarından ve şirket bilim adamlarını, mühendisleri ve üst yönetimi teşvik eden öncü Ar-Ge'nin bir sonucu olan bir selenyum fotoreseptörü kullandı. O halde, şirketin adını Xerox olarak kısalttığı 1961 yılında, Bardeen'in yönetim kuruluna seçilmesine şaşmamak gerek, bu pozisyon 1970'lerde yönetim kurulu üyelerinin emeklilik yaşına gelene kadar bu görevde kaldı. Bardeen ikili bir rol üstlendi. O sadece yönetim kurulu üyesi değildi, aynı zamanda şirketin teknik danışma komitesinde de görev yaptı - Xerox'un genel araştırma programını zaman zaman gözden geçiren ve üst yönetime bilimsel fırsatlar ve genel Ar-Ge felsefesi hakkında tavsiyelerde bulunan, dışarıdan seçkin bilim adamları ve mühendislerden oluşan küçük bir grup. Bu son rolde Bardeen, yalnızca Dessauer tarafından değil, aynı zamanda diğer üst düzey şirket yetkilileri ve Dessauer'in halefleri Jacob E. Goldman ve George Pake tarafından da çok değerliydi. 1972'ye gelindiğinde Xerox PARC [Palo Alto Araştırma Merkezi] kurulmuştu ve lazer kserografik baskının öncülüğünü yapmaya çoktan başlamıştı; bu uygulama, düşük güç tüketimi ve uzun ömürlü katı hal lazerlerinin büyük umut vaat ettiği bir uygulamaydı. Bardeen'in tavsiyesi, PARC'ın küçük bir grup Illinois Üniversitesi doktorasını bir araya getirmesinde etkili oldu (Holonyak'ın öğrencileri ve dolayısıyla doktora-soyu anlamında Bardeen'in "torunları" dâhil). Bu küçük grup daha sonra yüksek güç çıkışlı katı hal lazer yapılarında dünya liderliğini kuracaktı; bu, Xerox'un John'un stratejik teknolojik yatırımlar üzerine araştırma yönetimine yönelik tavsiyesinden nasıl yararlandığının bir başka örneğiydi. Bir yönetici ve teknik danışma komitesi üyesi olarak yaptığı faaliyetlerde, Bardeen yıllar içinde araştırma merkezlerini tek başına ziyaret etmek için birçok fırsat buldu. Bir bilim insanının laboratuvarını ziyareti genellikle etkileyici bir olaydı. John az konuşan bir adam olmasına rağmen, mükem-

mel bir dinleyiciydi. Deneysel programla ilgili yorumları ve tavsiyeleri, bilim dünyasında benzersiz olan muazzam bir anlayış ve vizyon temelinde dayanıyordu. İlk iki kez fizik Nobel ödüllü ilk kez kendi laboratuvarınızda araştırmanıza odaklanan ve olası sonraki adımları değerlendirmek için sizinle birlikte çalışmaya başlayan bu güçlü güce sahip olmanın etkisini hayal edin! John'un sadece tavsiyesi ve danışmanı çok değerli değildi, aynı zamanda bir yönetim kurulu üyesi ve danışman olarak varlığı, Xerox araştırmalarına katılmak için yeni bilim adamlarının işe alınmasında da paha biçilmez bir değere sahipti. Ben de (George Pake), hayatımın çoğunu geçirdiğim akademiden ayrılıp ayrılmama konusunda müca-

dele ederken bu faktörden güçlü bir şekilde etkilendim. Ve bilim adamlarını ve mühendisleri yeni PARC'a işe alırken, John'un Xerox'taki üst düzey varlığının, şirketin araştırma konusundaki ciddi niyetinin neredeyse anında doğrulanmasını sağladığını gördüm - bu, diğer şirketlerin epizodik geçmişleri göz önüne alındığında özellikle önemli bir faktördür. John, başarılı endüstriyel araştırmanın tutarlı bir yatırım gerektirdiğini biliyordu ve bu görüşü yönetim kurulu düzeyinde kararlı bir şekilde somutlaştırmasının, Xerox'un temel ve üst düzey araştırmalara yapılan istikrarlı yatırım konusundaki kısılanılacak siciliyle çok ilgisi olabilirdi.



Bardeen'in endüstri üzerindeki etkisi bununla sınırlı değildi. Birkaç yıl boyunca General Electric'in baş danışmanıydı ve Jack Kilby'nin temel entegre devre icadının bazı yönleriyle ilgili olarak bir Japon patenti için başarılı bir şekilde başvuruda bulunduğu anda Texas Instruments için önemli bir uzman tanık olarak hizmet etti. Ayrıca, Pake'in yazdığı gibi, Bardeen bazı eski öğrencilerinin ara sıra kurduğu yeni kurulan şirketlere yardım etti. Bir örnek, 1975'te kurulan Super-tex'tir....John, [1983'ten 1991'e kadar] yönetim kurulunda görev yaptı ve yüksek voltajlı entegre devreleri vurgulama konusundaki stratejik kararını etkiledi. Daha da önemlisi, Bardeen, Sony Corporation of Japan'ın resmi danışmanı olmasa da, Sony ile 1953'teki ilk ziyaretiyle başlayan halefi Makato Kikuchi ve şirketin kurucusu Akio Morita ile birlikte yakın bir ilişkiye sahipti. Takip eden yıllarda Sony, "Bardeen bağlantısına" verdiği önemi çeşitli şekillerde gösterdi. Hatoyama, Bardeen'i 60. doğum gününde onurlandıran Urbana-Champaign (UIUC) Sempozyumu'ndaki 1968 Illinois Üniversitesi'ne John için mükemmel bir doğum günü hediyesi ile geldi: onun değerli eşyalarından biri haline gelen transistörlü bir radyo içeren bir golf topu. 1989'da Sony, UIUC'de John Bardeen'in Fizik ve Mühendislik Kürsüsü'nü kurmak için o zamanlar bir sanayi şirketinin bir üniversiteye verdiği en büyük tek hediye olan 3 milyon dolarlık bir bağış yaptı. Ertesi yıl, onun için Tokyo'ya son ziyareti olduğu ortaya çıkan 82. doğum günü partisi verdi. John'un, Jane'in yanında, Sony tarafından transistörlü ilk radyo şeklinde yapılmış bir pastanın üzerindeki mumları üflerken çekilmiş bir fotoğrafı, George Pake'in Physics Today'deki makalesinde bulunabilir. Bardeen aynı zamanda güvenilir bir danışmandı. ABD hükümeti için 1959'da halefi John F. Kennedy olan Başkan Dwight D. Eisenhower'a danışmanlık yapmak üzere atanan ilk büyük Başkanlık Bilim Danışma Komitesi'nin kurucu üyesi oldu ve 1962'ye kadar PSAC'de kaldı. Bardeen daha sonra Başkan Lyndon B. Johnson'un Patent Sistemi Komisyonu'nda görev yaptı ve 1982'de Başkan Ronald Reagan'ın Beyaz Saray Bilim Danışma Konseyi üyesi olarak yeniden başkanlık danışmanı oldu. İkinci kapasitede, 1983'te Reagan'ın "Yıldız Sa-

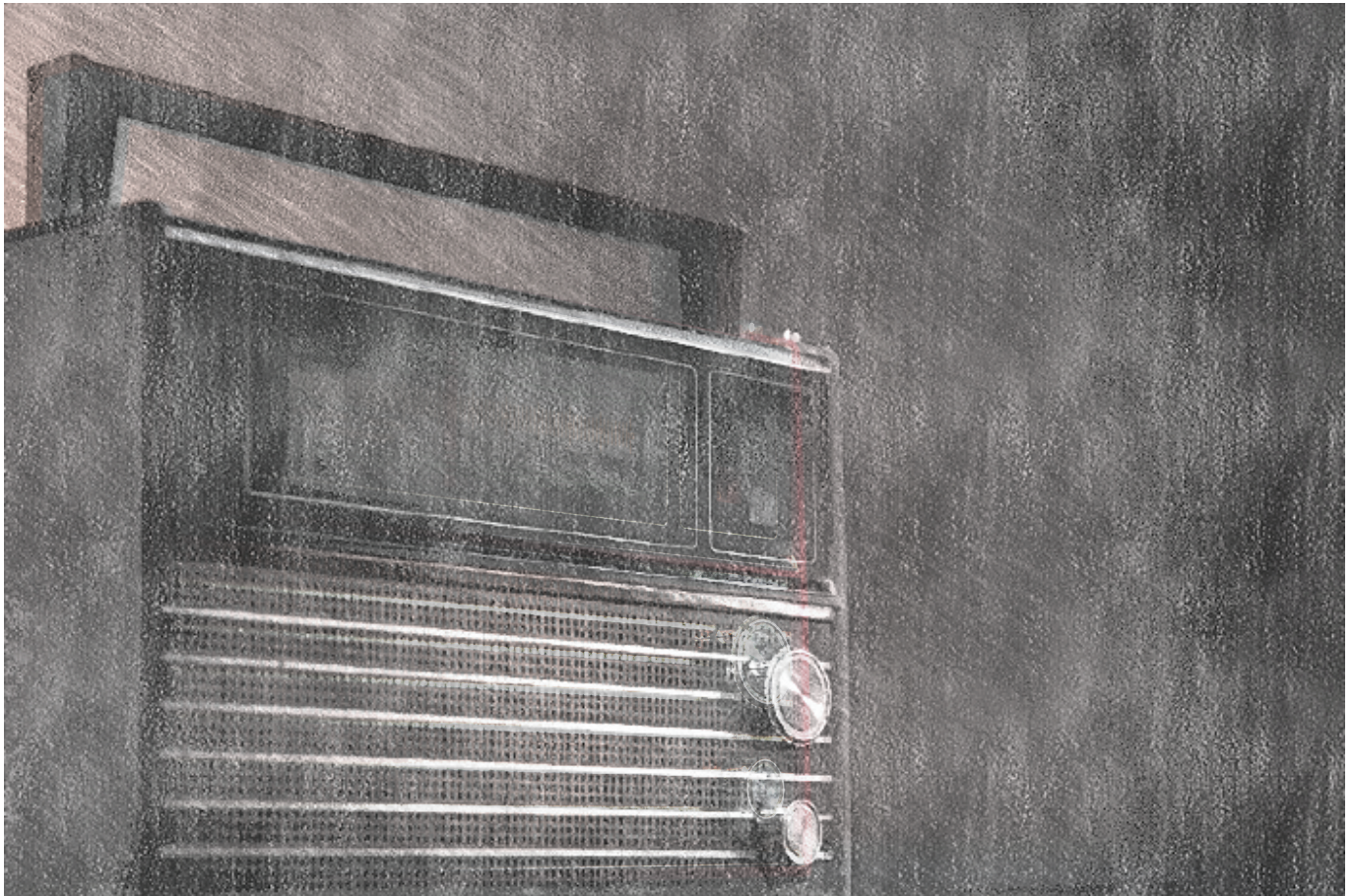
vaşları"nı (Stratejik Savunma Girişimi-SDI) gerçekleştirme kararını protesto etmek için Kensey'den istifa etmeden önce, David Packard ile birlikte hükümet laboratuvarlarının bilimsel çıktıkları ve potansiyel kullanılabilirliği hakkında önemli bir rapor hazırladı. Bu konuda Bardeen, Kensey'e yeterince danışılmadığını doğru bir şekilde hissetti. Bardeen bu konuda güçlü görüşlere sahip olmaya devam etti ve daha sonra 1986'da SDI hakkında şunları yazdı: "Sivil ekonomimizin dünya pazarlarında rekabetçi kalabilmesi için alabileceği tüm yardıma ihtiyaç duyduğu bir zamanda, dünyanın en iyi bilimsel ve teknik beyinleri, ülke için değerli şüpheli olan bir proje üzerinde çalışmaya çekilebilir." Bardeen'in Urbana'daki üst düzey varlığı, Xerox'ta olduğu gibi, UIUC Fizik Bölümü'nün yoğun madde teorisinde dünya lideri bir grup geliştirmesini mümkün kıldı. 1959'da UIUC fakültesine yeniden katılmamın nedeni John'la günlük olarak etkileşim kurabilmektir ve birlikte Bob Schrieffer'ı orada bize katılmaya ikna ettik. Bob 1962'de Pennsylvania'ya gittikten sonra, Leo Kadanoff ve Gordon Baym'i Urbana'ya gelmeye ikna ettik; onlara daha sonra Christopher Pethick, Charles Duke ve UIUC Ph.D. derecesini almış olan Bill McMillan katıldı. Bir grup olarak, John'un kıdemli ve en seçkin üyemiz olduğu bir grup olarak, 1959-69 döneminde, bazıları başlangıçta alınan Ordu Araştırma Ofisi, Deniz Araştırmaları Ofisi ve Ulusal Bilim Vakfı'ndan hükümet hibeleri aracılığıyla sürekli destek aldık. Bu desteği John Hubbard, Ludwig Tewardt, Franco Bassani, Massimo Altarelli, Brian Josephson, Anthony Leggett, Christopher Pethick, Wolfgang Goetze ve Michael Moore dahil olmak üzere kayda değer bir doktora sonrası araştırmacı grubunu çekmek için kullanabildik. Bardeen, endüstriye ve hükümete tavsiyelerde bulunmanın yanı sıra, onun görüşlerini duymaya hevesli oldukça geniş bir dinleyici kitlesine konuşmalar yapma konusunda cömert davrandı; bu izleyiciler, ilkokul çocuklarından tıp derneklerinin toplantılarına kadar çeşitlilik gösterdi. Ancak BCS'yi takip eden yirmi yıl boyunca, BCS ve uygulamalarının (Bob Schrieffer ile 1961'de yazılmış) güvenilir bir incelemesiyle başlayarak ve BCS teorisinin bir dizi süperiletken fenomene uygulan-

masına ilişkin çalışmasını da içeren temel ilgi alanı fizikte kaldı. II. tip süperiletkenlerdeki akı çizgilerinin hareketi gibi. 33 BCS teorisinin en dikkat çekici sonuçlarından biri, 1961'de Cambridge Üniversitesi'nde lisansüstü öğrencisi olan Brian Josephson tarafından, iki süperiletkenin birbirinden ince bir yalıtkan bariyer, elektron çiftlerinin bu bariyerden bir süperiletkeninden diğerine tünel açması mümkün olabilirdi. Şaşırtıcı bir şekilde, kuantum tünellemenin mikroskobik bir tanımını geliştirmek için yoğun bir şekilde çalışmış olan Bardeen, bu hipotezi hemen kabul etmedi ve doğruluğu konusunda önemli tartışmalar başladı. Bardeen'in fizikteki önemli bir konuda yanıltıcı ender bir örnektir, çünkü sonraki yıl boyunca bir dizi deney Josephson'ın haklı olduğunu gösterdi. Bardeen, yanıltıcı nezaletle kabul etmekle kalmadı, kısa bir süre sonra Josephson'ı Urbana'da doktora sonrası araştırmacı olarak onunla bir yıl geçirmeye davet etti. 1960'larda, meslektaşlarının çoğuyla ortak olarak Bardeen, aynı zamanda, fermiyonik kuazipartikülleri arasındaki net bir çekim tarafından meydana getirilen sıvı He³'ün süperakışkan halinin olası varlığını düşünmeye başladı. Kuantum maddenin bu yeni hali arayışının liderlerinden biri, John'un ofisinden iki kat aşağıda deneyler yapan Bardeen'den meslektaş John Wheatley'di; bu çalışmalar, sıvı He³'ün giderek daha düşük sıcaklıklardaki davranışına ve yeni bir tür kuantum sıvı, bir süperakışkan He⁴ banyosuna batırılmış sıvı He³'ün seyreltik karışımlarına odaklandı. John'un He³-He⁴ sıvı karışımlarına olan ilgisi iki yönlüydü: taşıma özelliklerini çözmeyi umuyordu ve He³ alt sisteminin He⁴ arka planında süperakışkan duruma geçiş yapip yapamayacağını görmek istedi. Bu, o zamanlar, anlaşılması zor olan ve BCS'yi takip eden 14 yıl boyunca keşfedilmemiş kalan saf He³'ün aşırı akışkanlığı kadar olası görünüyordu. Bardeen, Wheatley'in deneylerini neredeyse her gün takip etti. Davranışlarıyla ilgili temel kavrayışı eski Bardeen'di: En başından beri, He³'ü He⁴'ten ayırmanın, birincisinin daha büyük sıfır noktası enerjisi dışında, mikroskobik bir yolu olmadığını fark etti. Bu nedenle, temel fiziksel parametrenin, He³ atomlarının sıvı He⁴'e girmesine eşlik eden

molar hacimdeki fraksiyonel artış olacağını ve He_3 atomları arasındaki etkin etkileşimin, bu fraksiyonel artışın karesiyle orantılı olacağını düşündü. John, Gordon Baym ve bana sonucunu anlattı ve He_3 'ün tanıtımına arka plan sıvısının tepkisini karakterize etmek için tepki fonksiyonlarını kullanarak bunu ilk ilkelerden türetilip çıkarmayacağımızı görmeye karar verdik. Bir süre sonra, He_3 atomları arasındaki doğrudan etkileşim ile He_4 arka planındaki sanal fononların değiş tokuşu tarafından üretilen indüklenmiş etkileşimler arasındaki bir iptalin sonucu olduğunu bulduğumuz John'un sonucunu elde ettik. Bu iptalden sorumlu olan çok vücutlu etkilerin oldukça incelikli etkileşimi göz önüne alındığında, Gordon ve ben, John'un en başından beri sezgisel olarak doğru cevabın ne olacağını bilmesine hayret ettik. Üçümüz daha sonra karışımın taşıma özelliklerini biraz ayrıntılı olarak çözdük. Ne yazık ki, zayıf etkileşimli He_3 kuasipartiküllerinin bir süperakışkan haline gelmesi için geçiş sıcaklığı o kadar düşüktü ki, iki

süperakışkanın bir karışımında bulunan birçok büyüleyici yeni fenomeni incelemek için umut edilen fırsata sahip olunamazdı. On yılda, BCS'den sonra, birçok yeni süperiletken keşfedilmesine rağmen, süperiletkenliğin ortaya çıkması için geçiş sıcaklığı hiçbir zaman -25 K'yi geçmedi, M. Cohen ve P.W. Anderson tarafından yapılan bir hesaplama, gerçekten bir "fonon tavanı" olabileceğini öne sürdü - maksimum Elektronlar arasındaki bir fonon değişiminden kaynaklanan süper iletkenlik için geçiş sıcaklığı. Bardeen de dâhil olmak üzere bir dizi teorisyen, daha yüksek süperiletken geçiş sıcaklıklarına sahip malzemeler üretebilecek tamamen elektronik bir mekanizma bulma umuduyla elektronlar arasında net bir çekim elde etmenin başka yollarının olasılığını araştırmaya başladı. Bardeen'in bu elektronik çekilişe girişi, son doktorası ile geliştirildi. Öğrenciler, David Allender ve Jim Bray; 1973'te eksitonlar (bağlı elektron-delik çiftleri) içeren malzemelerde, elektronlar arasındaki eksiton değişiminin

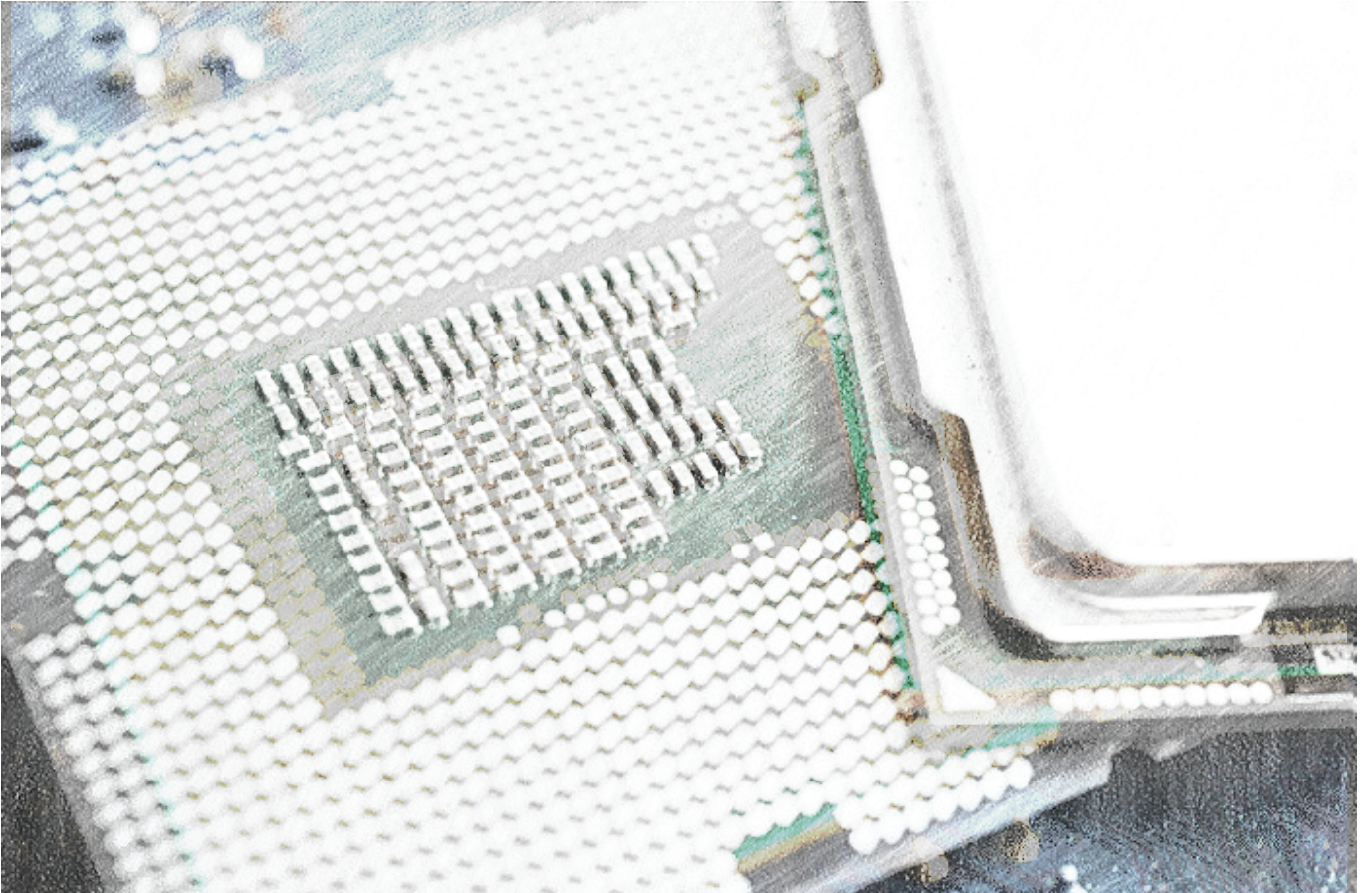
net bir çekime yol açabileceğini ve bize daha yüksek sıcaklıkta süper iletkenler verebileceğini önerdiler. Bu olasılık henüz kendini göstermedi. John, öğrenciler, doktora sonrası veya meslektaşları ile bu ve diğer sorunlar üzerinde çalışırken, olimpik bir duruş sergilemedi. Tam orada siperlerdedeydi, ayrıntılı hesaplamalar yapıyor, faktörleri kontrol ediyor ve sonuçların yayınlanması için yazılmasıyla yakından ilgileniyordu. Devam eden dikkate değer ve ufuk açıcı katkılarının getirdiği zaferin tadını çıkarmak yerine, her zaman bir sonraki bilimsel meydan okuma üzerinde çalışmayı tercih etti. Yoğun madde fiziğinin -çok cisim teorisinden yer değiştirme hareketine kadar- hakkında derinlemesine düşünmediği hemen hemen hiçbir alanı yoktu ve yeni zorluklara göğüs germeye istekli olduğu için tavsiye ve öğüt için çok aranıyordu. Örneğin, 1953'te Keith Brueckner nükleer madde teorisini geliştirirken ve yaklaşımının gerçekten çok cisim sorununa kesin bir çözüm sağlayabileceğini öne sürerken, ön



sonuçlarını Bardeen'e gönderdi. John, Brueckner'in hesaplamalarını ayrıntılı olarak gözden geçirdi ve sonra ona, etkileşimin gücüyle ilgili bir dizi üst düzey terimi hesaplamadığı için teorisinin kesin sayılamayacağını belirtti. 1972'de John'un kendisinin, Leon Cooper ve Bob Schrieffer'in BCS teorisi için Nobel Ödülü'ne layık görüldüğü haberini aldığı gün, John ofise geç geldi. Garaj kapısı açıcısı arızalıydı (ilgili transistörlerle ilgili herhangi bir sorun nedeniyle John bana bilgi vermedi!). Sonunda, günün planlanmış ana etkinliğine devam etmeye hevesli bir şekilde geldi, Cornell'den David Lee'nin öğle yemeği seminerine katılmak. Lee, Tony Leggett'in süperakışkan faz için kanıt sağlamak üzere yorumladığı sıvı He₃'ün çok düşük sıcaklık özellikleri üzerine Doug Osheroff ve Bob Richardson ile yaptığı deneylerin sonuçlarını anlatacaktı. Böylece seminerde iki sıvıyla kutladık: süper akışkan He₃ ve şampanya. Sonunda keşfedilen bu kuantum sıvının özelliklerinin, o gün 15 yaşındaki BCS teorisinin katabaricli sıvıyla onurlandırılmasına önemli

bir şekilde bağlı olduğu ortaya çıktı. John, profesörlüğünden 1975'te, yani ondan yaklaşık üç yıl önce emekli oldu. Departmanların gençleri atamasını mümkün kılmak istedi. Ama aynı zamanda seyahat ve torunları için daha fazla zaman istiyordu. Bununla birlikte, John Urbana'dayken, rutini emeklilik öncesi günlerinden esasen değişmedi. Ofise erken gelir ve geç ayrılırdı, tabii gün alışılmadık şekilde golf için umut verici değilse ve öğleden sonra golf randevusu almadıysa. Ofisinin kapısı her zaman açıktı, bilimsel bir tartışmaya hazır olduğunu belirtmek için. Fiziğe ve yeni fizik yaratmaya olan ilgisi hiç azalmadı. Bilimsel makalelerini ve yazışmalarını düzene koymak gibi bir arşiv görevi üzerinde çalışmaya ancak yaşamının son yılında başladı ve bu projeye yalnızca görme yetisi çok zayıf olduğu için (maküler dejenerasyonun bir sonucu olarak) başladığından şüpheleniyorum. Tüm gününü literatürü hesaplayarak ve okuyarak geçirmenin çok zor olduğunu söyledi. Bardeen'in emekliliğini takiben ve 1980'lere uzanan ana bilimsel dürtüsü, yarı

tek boyutlu metallere yük yoğunluğu dalgalarını hareket ettirerek elektronların taşınmasını anlamaktı. John, ölümünden sadece bir ay önce Physics Today'in Aralık 1990 sayısında yayınlanan, süperiletkenlik ve diğer makroskopik kuantum fenomenlerinin "popüler" bir açıklaması olan son bilimsel makalesinde bunun hakkında yazdı. Bu tür yük yoğunluğu dalgalarının tanımlanması, bir ayrık kuantum durumundan diğerine tünelleme ile ilişkili makroskopik bir fenomendi. Bu problem üzerinde çalışan teorisyenler arasında John, verileri anlamak için yarı-klasik olmaktan ziyade kuantum hesaplamaların gerekli olduğuna inanan neredeyse tek kişiydi. Teorisinin temel deneysel gerçekleri basit bir şekilde açıklamış olmasına rağmen, John konuyla ilgili ilk makalesini "Physical Review Letters"da yayınlamakta büyük zorluk çekti. O derginin hakemlerinin önyargısı ve beceriksizliği olarak gördüğü şeye karşı sık sık dile getirdiği öfkesi neredeyse sınırsızdı. Yarı boyutlu metallere yaklaşımının, geliştirilmesinden on yıldan fazla bir süre sonra



henüz geniş çapta kabul görmemesi, onun için geçmeyen bir hayal kırıklığı kaynağıydı. John, Physics Today makalesini yazmak-taki temel motivasyonunun rekoru kırmak olduğunu bana söyledi. "On yıldan fazla bir süredir tünel açma modelinin kayda değer başarısına rağmen, birçok teorisyen hala tünel basamağını görmezden gelen klasik teorilerle verileri açıklamaya çalışıyor." dedi. Bardeen, 1986'da Georg Bednorz ve Alex Mueller tarafından üretilen yüksek sıcaklıklı süper iletkenler keşfinden memnun kaldı. Sonraki deneysel çalışmayı yakından takip etti ve Urbana ve başka yerlerdeki meslektaşlarıyla sık sık aday teorileri tartıştı. John'un özelliği, yüksek sıcaklıkta süperiletkenlik için olası mekanizmaları düşünürken önerdiği eksiton mekanizmasına odaklanmamasıydı. Deneyle ilgili karar vermesine izin vermeyi tercih etti. (Bilinsin ki, deney sonuçları gelmeye başladığında, John tamamen elektronik bir mekanizmanın iş başında olduğundan emin oldu ve en iyi şansın bir dönüş dalgalanması mekanizması olduğunu düşünmeye başladı.) Bardeen, dikkate değer ölçüde bağımsız biriydi. Kendine güveni o kadar yüksek bir kişiydi ki, bazen "Sessiz John" olarak anılırdı. Biriy-le konuşurken, konuşmadan önce olağanüstü uzun bir süre boyunca -belki 15-30 saniye- hiçbir şey söylememe alışkanlığına bir göndermeydi. Başkalarının söyleyecekleriyle çok ilgilenirken, kendisi ya da başarıları hakkında konuşmaya ya da görüşlerini uzun uzadıya ifade etmeye pek ihtiyaç duymadı. Bu açıdan kişiliği erken bir dönemde açıkça şekillendi. Walter Brattain, Whitman ve Minnesota'daki öğrencilik günlerinden Brattain'in eski bir arkadaşı olan Princeton öğretim üyesi Walker Bleakney ile 1945'te bir karşılaşmayı anlatmayı severdi. Bleakney, bir deneyci olmasına rağmen, John bir yüksek lisans öğrencisiyken Bardeen'i oldukça iyi tanıyordu. Brattain, Bardeen'in yeni işe alındığını ve iş arkadaşlarından biri olacağını söylediğinde, Bleakney şu tavsiyelerde bulundu: "Bardeen'in bir şey söylemek için ağzını pek sık açmadığını göreceksiniz. Ama o söylediğinde, SİZ DİNLEYİNİ!" Brattain'in bu hikayeyi sık sık tekrarlamasında yaydığı neşe, Bardeen'e olan hayranlığının ve dostane duygularının derinliğini simgeliyordu. Bu belki de onun



özlü eğilimlerine odaklanan sayısız Bardeen öyküsünün ilkiydi ve ben buraya iki tane daha ekliyorum. Eşi Jane, eşim Suzy'ye, transistörü keşfettiği 1947 Aralık günü John'un alışılmadık bir heyecanla eve geldiğini ve ona "Bugün laboratuvarında oldukça ilginç bir şey keşfettik" dediğini söyledi. Çalı fasulyesi yakalamanın ortasında olan Jane, "Akşam yemeğini hazırlamakla oldukça meşgul olduğum için lütfen bana anlatmak için daha sonraya kadar bekleyin" diye yanıtladı. Jane'in söylediği gibi, o an geçti. John başka faaliyetlere geçti ve Bardeen Walter Brattain'in son deneyinin sonuçlarını anlattığı için o gün laboratuvarında neler olduğunu öğrenme şansını kaybetti. John'un uzun süredir UIUC fizik meslektaşı olan Charlie Slichter, John'la neredeyse on yıl sonra buluşmasını anlatıyor: "Şubat (1957) başlarında bir sabah, Fizik Binasının ikinci katındaki ofisimden çıktım ve John'la karşılaştım. Belli ki aklında bir şey vardı ve bana bir şey söylemek istiyordu. John pek konuşkan değildi. Eğer konuşsam, söylemek istediklerini önceden tahmin edeceğimi fark ettim. Ben beklerken öylece durduk. Sonsuza kadar gibi görünüyordu ama muhtemelen sadece birkaç saniyeydi. Sonra, "Sanırım süperiletkenliği çözdük" dedi. Ne mesaj! Bu, bir bilim insanı olarak hayatımdaki en heyecan verici olaydı kuşkusuz. Belli ki John, Bob ve Leon bir gece önce çözümün ellerinde olduğuna ikna olmuşlardı." John seyahat etmeyi severdi. Avrupa'ya ilk seyahati 1947'de Bill Shockley ile oldu ve dönüşünde Neville Mott ve Louis Neel gibi yoğun madde fiziğinin önde gelen isimleriyle tanıştığı bu seyahatin kapsamlı bir dökümünü yazdı. Özellikle kur-

Özellikle kurmuş olduğu

bilimsel dostluklara değer verdi ve

yurtdışındaki bilimsel konferanslara seyahat etmenin

eski ilişkileri yenilemek ve

yeni ilişkiler kurmak için

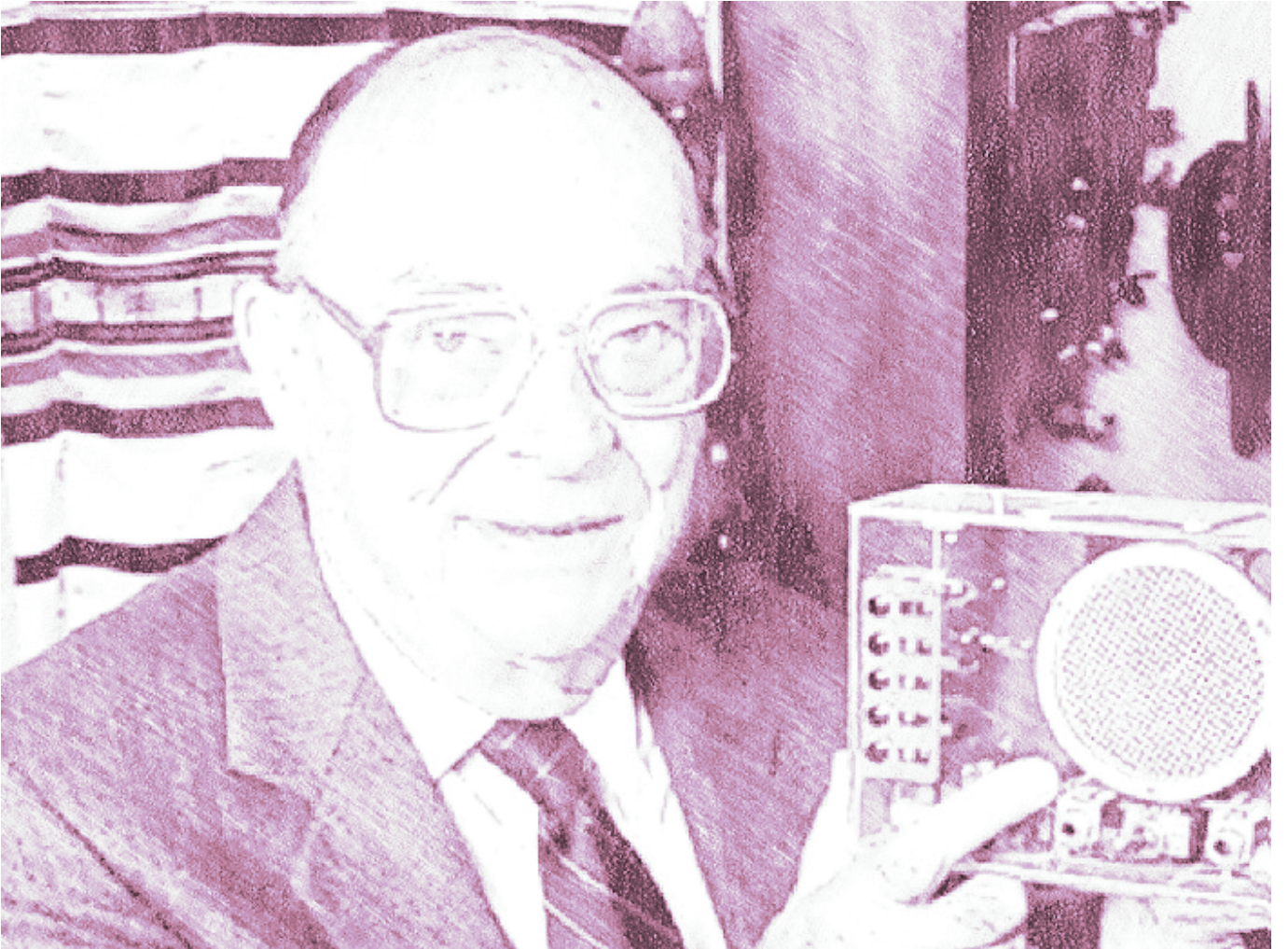
sağladığı fırsatları memnuniyetle karşıladı.

muş olduğu bilimsel dostluklara değer verdi ve yurtdışındaki bilimsel konferanslara seyahat etmenin eski ilişkileri yenilemek ve yeni ilişkiler kurmak için sağladığı fırsatları memnuniyetle karşıladı. Avrupa'ya giderken, saat değişikliği günleri için önceden hazırlanır, her gün bir saat erken kalkardı, böylece biyolojik saati geldiğinde neredeyse tamamen sıfırlanırdı. Bardeen'in Japonya, Çin ve Sovyetler Birliği'ne yaptığı seyahatler onun için özellikle anlamlıydı. John belki de Batı'da Vitaly Ginzburg ve Lev Landau'nun süperiletken faz geçişi, onun Alexei Abrikosov tarafından tip II süperiletkenlere uygulanması ve Ginzburg-Landau denklemlerinin Lev Gor'kov'un BCS teorisi. John ilk olarak 1959'da Prag'da yarı iletkenler üzerine bir toplantının ardından Moskova'ya gitti. Yolculuğu, 1956'da Ottawa'da uluslararası bir konferansta Bardeen ile karısıyla tanışan SSCB'de katı hal fiziğinin öncüsü Abram Ioffe tarafından oldukça kısa bir sürede ayarlandı. Ioffe, Landau'nun gelmesi için izin alamamıştı. Böylece, Bardeen ile Prag'da tekrar buluşurken, Ioffe, John'un Landau ve çevresindeki teorik grupla tanışmasının özellikle önemli olduğunu hissederek, çok kısa bir sürede bir ziyaret ayarladı. John, Moskova'da tanıştığı fizikçilerden derinden etkilendi. Yalnızca bilimsel yetenekleriyle değil, aynı zamanda baskıcı bir rejim altında hayatta kalma ihtiyacının küçük bir parçası olmayan dikkate değer kişisel nitelikleriyle de etkileyiciydi. Aralık 1963'te John, teorik fizik üzerine bir All-Union Konferansına katılmak için Moskova'ya ikinci seyahatini yaptı. John, ABD fizik topluluğunun oraya davet edilen diğer

üyeleriyle (Leo Kadanoff, Paul Martin, Walter Kohn, Pierre Hohenberg ve yazar) birlikte, Landau'nun teorik fizik okulunun üyesiyle yakın bilimsel ve kişisel ilişkiler geliştirmeye başladı. (Arkady Migdal, Evgeny Lifshitz, Ilya Lifshitz, Isaac Khalatnikov, Lev Gor'kov, Igor Dzyaloshinskii ve Alexei Abrikosov ve diğerleri). Landau'yu geçen yıl acayip bir araba kazasında kaybetmenin acısını hâlâ çok hissediyorlardı ve hepimiz hâlâ birkaç hafta önce John F. Kennedy'nin trajik suikastının acısını çekiyorduk. İlişkilerimiz, takip eden on yıl boyunca John'un aktif bir katılımcı olduğu teorik fizik üzerine bir dizi ortak ABD-SSCB konferansı ile güçlendirildi. Jane ile birlikte, sonuncusu ABD'de olmak üzere birçok başka vesileyle SSCB'ye gitti. 1986'da kendisine 1985'te verilen Sovyet Bilimler Akademisi'nin Lomonosov Altın Madalyası'nı almaya hak kazandı. 1990'da, Landau oku-

lunun üyelerinin uzun süre yurtdışına seyahat etmeleri mümkün hale geldiğinde, John ve ben Gor'kov için anlaştık. Gor'kov'un Urbana'da misafir öğretim üyesi olarak bir yıl geçirmesini sağladı ve John, Gor'kov'un 1991 UIUC mezuniyet töreninde aldığı fahri derece için aday gösterilmesinde etkili oldu. John, Richard Nixon'dan kısa bir süre sonra, katı hal fiziğinde 1975 NAS sponsorluğundaki heyetin bir üyesi olarak Çin'e gitti, Japonya'ya ilk seyahati ise, kendisi ve diğer küçük bir grup Amerikalı teorisyen davet edildiğinde çok daha önce olmuştu. 1953'te Kyoto'daki uluslararası bir konferansa katıldı. Sık sık Japonya'ya döndü ve Japon bilim adamlarıyla (özellikle 1953'te tanıştığı teorisyenler Sadao Nakajima ve daha önce John'un Urbana'daki öğrencisi olan Toshihiko Tsuneto ile yakın ilişkiler kurdu. (1960'ların başında ve daha önce belirtildiği gibi, Japon kurumsal

topluluğunun önde gelen üeleriyle). John, Japon teknolojisinden ve Japonların transistör ve ilgili elektronik cihazlardan yaptığı kullanımlardan giderek daha fazla etkilendi. Önde gelen Japon şirketlerinin benimsediği uzun vadeli görüşe özellikle hayrandı; bu, on yıl boyunca karşılığını alamayabilecek projelere önemli taahhütlerde bulunma konusundaki isteklilikleriyle kanıtlandı. Bu görüşü sık sık ABD'li meslektaşlarının çok daha kısa dikkat süreleri ile karşılaştırdı. John, öğrencileri ve meslektaşları tarafından yalnızca sevilip takdir edilmekle ve derin bir saygıyla karşılanmakla kalmadı, aynı zamanda daha geniş bir topluluk tarafından da çok onurlandırıldı ve kutlandı. Fizikte iki Nobel Ödülü kazanan tek bilim adamı olmaya devam ediyor. UIUC İleri Araştırmalar Merkezi'nin kurucu üyesiydi ve Ulusal Bilimler Akademisi'ne (1954'te), Amerikan Felsefe Derneği'ne ve



Amerikan Sanat ve Bilim Akademisi'ne ve Kraliyet Cemiyeti'ne Sovyet Bilimler Akademisi ve Macar Bilimler Akademisi'ne yabancı üyeliğe seçildi. 1985 Lomonosov Madalyası'na ek olarak, Franklin Enstitüsü'nün 1952 Stuart Ballantine Ödülü, 1955 Philadelphia Şehri John Scott Madalyasını, Amerikan Fizik Derneği'nin 1955 Buckley Ödülü, düşük sıcaklık için 1962 Fritz London Ödülü, Amerikan Mühendislik Eğitimi Derneği'nin 1964 Vincent Bendix Ödülü, 1965'te ABD Ulusal Bilim Madalyası, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün Şeref Madalyası (1971), 1973'te Princeton Üniversitesi'nden James Madison Madalyası, ve Cambridge Üniversitesi, Glasgow Üniversitesi, St. Andrews Üniversitesi, Hindistan Teknoloji Enstitüsü, Clarkson Teknoloji Koleji, Georgetown Üniversitesi, Harvard Üniversitesi, Illinois Üniversitesi, Michigan Üniversitesi, University of Michigan'dan onursal dereceleri Minnesota, Notre Dame, Princeton Üniversitesi, Pennsylvania Üniversitesi, Rensselaer Politeknik Enstitüsü, Wisconsin Üniversitesi, Union College ve Western Reserve University onursal dereceleri başarıları arasındaydı. 1974'te Mucitler Onur Listesi'ne girdi ve 1977'de Alexander von Humboldt Ödülü, 1978'de Illinois Üniversitesi Seçkin Madalyonu ve Case Western Reserve Üniversitesi'nden Michaelson Morley Ödülü kendisine sunuldu. 1990'da Bardeen, Amerikan yaratıcılığına olağanüstü katkıları onurlandıran Üçüncü Yüzyıl Ödülü'nün 11 alıcısından biriydi ve o yıl Life Magazine tarafından yüzyılın en etkili 100 kişisinden biri seçildi. Bardeen ayrıca bilimsel faaliyetlerin organizasyonunda ve yönetiminde de öncü bir rol oynadı. Frederick Seitz ve Roman Smoluchowski ile birlikte, 1947'de Amerikan Fizik Derneği'nin katı hal fiziği (şimdi yoğun madde fiziği) bölümünün oluşumunda etkili oldu ve 1968'den 1969'a kadar APS başkanı olarak görev yaptı. Uluslararası Saf ve Uygulamalı Fizik Birliği'nin Çok Düşük Sıcaklıklar Komisyonu'nun 1968'de üyesiydi ve 1969'dan 1972'ye kadar Komisyonun başkanı olarak görev yaptı. John'un arkadaşlarına ve ailesine olan bağlılığı, John ve Jane aracılığıyla öğrencilerine ve doktora sonrası öğrencilerine kadar uzandı, genişletilmiş Bardeen ailesinin bir

parçası. John'un 1968'deki 60. doğum günü, Urbana'da eski öğrencilerini, akıl hocaları Eugene Wigner ve John Van Vleck'i, Bell Laboratories'den eski meslektaşlarını ve GE, Xerox, Ford ve Sony'deki hayranlarını bir araya getiren büyük bir kutlama vesilesiydi. Öne çıkanlardan biri, Bob Schrieffer'in John'a, öğrencileri orkestranın üyeleri olarak elinde sopa sallayarak (süper) bir şef olarak tasvir eden büyük bir posteri sunmasıydı. O andan itibaren, poster John'un ofisinde onurlu bir yer edindi. 1975 yılında UIUC'dan erken emekli olması vesilesiyle meslektaşları onun onuruna fizikte ve yarı iletken endüstrisinde henüz çözülmemiş sorunlara odaklanan ikinci bir büyük sempozyum düzenlediler. En iyi aile toplantılarına uygun olarak, bu fırsat John'a geniş ailesine olan derin sevgisini ve bu aileye John'a olan sevgilerini ve hayranlıklarını ifade etme şansı verdi. Bu saygı ve hayranlık, onunla temasa geçen herkes tarafından paylaşıldı ve bu güne kadar devam ediyor; UIUC 2007'nin 50 yıllık BCS teorisi kutlamasının bir parçası olarak düzenlenen ziyafette, neredeyse tüm akşam, John'la karşılaşmalar hakkında hikayeler alışverişinde bulunmakla geçti; John'un sessiz tavrı, nadiren ara sıra ortaya çıkan toplumsal duygu patlamaları başrol oynadı. John'un bilim tutkusu, golf tutkusuyla neredeyse eşleşti. Golf sahasındaki zafer anlarında, bilimde sergilemesine izin verdiğinden daha coşkulu zevk ifadelerine yer verdi. Bir keresinde, doğrudan bardağa atladığında, golf arkadaşları heyecanla yukarı aşağı zıplamasını izleyerek, "Şu şutun girdiğini gördün mü?" diye bağırdılar. İçlerinden biri, "Bahse girerim Nobel Ödülü'nü kazandığında bunu yapmamıştır" dedi. Başka bir maçta John bir deliğe çarptı. Nasıl hissettirdiği sorulduğunda, dikkatlice düşündükten sonra yanıtladı: "Sanırım iki Nobel Ödülü bir delikten daha iyidir." John, çocuklarla birlikte olmaktan özel bir zevk alıyordu. Kendi çocukları ve torunları küçükken onları sırtında yüzmeye götürmekten ve onlarla her türlü oyunu oynamaktan hoşlanırdı. Çocuklara olan ilgisi ailesiyle sınırlı değildi. Conyers Herring, 1955 yazında Bell'i ziyareti sırasında John'dan bir aile acil durumuna yardım etmek için adım atmasını istediğini sevgiyle hatırlıyor. "Eşim

Louise ve ben [John]'u günün sonunda ailemizle akşam yemeği yemek için evimize davet etmiştik. Şimdi, o gün kızımızın yedinci doğum günüydü ve bir çocuk doğum günü partisi için orijinal planlarımız, kabakulak hastalığına yakalandığı için iptal edilmek zorunda kaldı; çoğunlukla iyileşmiş olsa da, hala bulaşıcı olabilirdi. Bu yüzden oldukça mutsuz hissediyorduk. John'a zaten kabakulak olduğunu kontrol ettikten sonra, kızımızın doğum gününü kutlamak için davet edilen konuk olarak sunulmak isteyip istemediğini sorduk. Çok istekliydi ve özel ilgi alanı olarak şehir dışından gelen bir misafirle başarılı bir doğum günü partisi yaptık. Rolünden zevk alması John için oldukça tipikti. Eşim Suzy ve ben, Haziran 1958'de bize ve o zamanlar 22 aylık olan kızımız Catherine'e altıda eşlik ettiğinde, Bardeen'in küçük çocuklardan duyduğu zevki doğrulama şansımız oldu. John yolculuğa Catherine ile arka koltukta oturarak başladı; Paris'in kenar mahallelerinde ayrılırken onunla konuşmaya başladı ve tespit edebildiğimiz kadarıyla John'la hayatını ve zamanlarını tartışırken nefes almak için neredeyse durdu. İlk bir iki saatte sonra, John'un kesinlikle bir değişiklik için hazır olduğunu hissettik, ancak bize harika bir zaman geçirdiğini söylemekte çok açıktı ve tüm gezi boyunca Catherine ile ziyaretine devam etti. Görünüşe göre bu onun için unutulmaz bir yolculuktu, çünkü 10 yıl sonra, 60. doğum günü kutlamasının sona ermesine yönelik bazı slaytlar gösteren John, koltuk arkadaşlarından birini bu geziye dâhil etti. Ve çocuklar John'u severdi. John'un torunu Andrew Greytak, beşinci sınıfta "Kahramanım" hakkında yazması istendiğinde, büyükbabası hakkında yazdı. Genç Andrew, "Kahraman, kendisi için büyük bedeller ödeyerek büyük işler yapan kişidir" diye yazdı.

"İşler, önde gelen insan gruplarını... bir savaşta [veya] dünya için harika bir şey yapmayı, örneğin çok önemli bir şey icat etmeyi içerebilir. ...İki kahramanım var. Birincisi transistörün mucidi ve süperiletkenlik teorisini yazan adam... Aynı zamanda benim dedem. Az önce bahsettiğim şeyler için iki ortak Nobel Ödülü kazandı. Benim kahramanım olmasının asıl sebebi tabii ki dedem

olmasıdır. Diğer sebep ise transistördür. Diğer kahramanım George Washington." John da gerçekten cömert bir adamdı. Bilime yaptıkları katkılardan dolayı başkalarına kredi vermekten asla çekinmedi. Özellikle, makroskopik bir kuantum fenomeni olarak aşırı akışkanlık hakkındaki görüşleri John'un düşüncesini önemli ölçüde etkileyen Fritz London'a hayrandı. Londra'ya olan entelektüel borcunun bilincinde olarak John, 1972 Nobel Ödülü parasından payını alarak Duke Üniversitesi'nde Fritz London Ödülü'nü ve Fritz London Memorial Konferanslarını başlattı. John, 30 Ocak 1991'de öldü. Eşi Jane, çocukları Jim, Bill ve Betsy ve torunları Charles G. Bardeen, Karen G. Bardeen, William T. Bardeen, David P. Bardeen, Andrew B tarafından yaşatıldı. Chicago Tribune 3 Şubat 1991'de yayınlanan bir başyazıda şunları yazdı: "Bu on yılın sonuna doğru, 20. yüzyılda en büyük etkiye sahip olan kişilerin isimlerini saymaya başladıklarında, ölen John Bardeen'in adı geçen hafta, listenin başında, hatta belki de tartışmalı bir şekilde, olmalı...Mr. Bardeen iki Nobel ödülü paylaştı ve çok sayıda başka ödül kazandı. Ama her birimiz etrafımıza bakabildiğimizde ve her yerde dehası hayatımızı daha uzun, daha sağlıklı ve daha

iyi yapan bir adamın hatıralarını görebildiğimizde bundan daha büyük bir onur olabilir." Bardeen, elektronik devriminin kalbi olan transistörün ortak mucidiydi. Süperiletkenlik fiziğinde bir öncüydü. Aynı alanda iki Nobel ödülü kazanan ilk kişidir. Ölüm ilanındaki tüm bunları okumak, David Frankel adlı bir film yönetmeninin, birinin nasıl bu kadar önemli olup da daha iyi tanınmayabileceğini merak etmesine neden oldu. Kendi kendine, dünya üzerinde özel etkisi olan yaşamları tanınmanın bir yolu olması gerekmez miydi? Soru kaçmazdı. Sonunda, Frankel bunu Times Magazine'de arkadaşlarıyla paylaştı; bu sorun bizim cevabımızdır dendi. Bardeen'in kariyerinde birçok heyecan verici "eğer" sorusu var. Ya Madison'da mühendisliğe devam etmek ve ardından üç yıl sanayiye gitmek yerine, 1929'da Cambridge'deki Trinity College'a imrenilen burslarından biri için yaptığı başvuruda başarılı olsaydı? Ya yanlış deneysel sonuçların bir sonucu olarak, Eugene Wigner 1932'de nükleer fiziği anlama konusunda cesaretini kırmadıysa ve bu nedenle yoğun maddeyi incelemek için üç kritik yıl geçirmediyse? Her iki durumda da Bardeen'in bilimsel çıkarları oldukça farklı bir yöne mi gidecekti? Ya Bardeen'in 1951'de Bell Labs'ten

ayrılmasından tek başına sorumlu olan Bill Shockley, John'un yarı iletkenlerin temel fiziğine olan ilgisini ve süperiletkenlik üzerinde çalışma arzusunu desteklemiş olsaydı? Bardeen, Bell Laboratuvarlarında kalıyorsa süperiletkenliği çözebilecek miydi? (Bu son soruya benim cevabım "neredeyse kesinlikle hayır"dır, çünkü Bell ona süperiletkenlik için cesaret verici ve besleyici araştırma ortamı ve Illinois Üniversitesi'nde çözümünü bulmasında bu kadar önemli bir rol oynayan postdoclar ve öğrenciler sunamadı.) Bardeen'in bilimsel mirası, genişliği ve derinliği açısından olağanüstüdür. Ancak uzun vadede en önemli kısmı, öğrencilerini, doktora sonrası çalışanlarını ve meslektaşlarını büyük ölçüde etkileyen ve gelecek nesil bilim adamları için işaretler olarak hizmet edebilecek kişiliği ve bilimsel tarzı olabilir. Dokuz aşamalı tarzı şu şekilde özetlenebilir:

- **Okuma ve kişisel temas yoluyla ilk önce deneysel sonuçlara odaklanın.**
- **Farklı deneysel sonuçları birbirine bağlayan fenomenolojik bir tanım geliştirin.**
- **Herhangi bir birine bağlanmadan alternatif fiziksel resimleri ve matematiksel açıklamaları keşfedin.**
- **Termodinamik ve diğer makroskopik argümanlar, mikroskobik hesaplamalara göre önceliğe sahiptir.**
- **Matematiksel zarafet yerine fiziksel anlayışa odaklanın ve sistem davranışının mümkün olan en basit matematiksel tanımını kullanın.**
- **Yeni teorik teknikleri takip edin—çünkü bunlardan biri faydalı olabilir.**
- **Çözümüne yönelik ilk adım değil, sondan bir önceki adım olarak belirli bir modele karar verin.**
- **Doğru ortak çalışanları seçin.**
- **PES ETMEYİN: Sorun çözülene kadar sorunla kalın.**

