

Matematiksel Fizikte Bilimsel Yöntem ve En İyi Açıklamaya Çıkarım

Keremcan Doğan

İçindekiler

1	Giriş	1
2	Çıkarım Yöntemleri	2
3	Bilimsel Yöntem	4
4	Naif Tümevarımcılık	5
5	Hipotetik-Tümdengelimsel Yöntem	9
6	En İyi Açıklamaya Çıkarım	13
7	Matematiksel Fizikte Yöntem	18
8	Yazı Dizisinin Geleceği Hakkında	24

1 Giriş

Bu makale, oldukça uzun vadeli bir proje olarak planlanan matematiksel fiziğin felsefi yazı dizisinin ilk bölümünü oluşturmaktadır. Bu yazı dizisinde, matematiksel fizik merkezde tutularak önce bilim felsefesinin temel konuları tartışılacak, sonrasında da temel fiziğin önemli teorileri, arkalarında yatan gerekli matematiksel yapılarla beraber açıklanacak ve bu teorilerin felsefi sonuçlarına odaklanılacaktır.

İlk makalenin ana konularından biri olan bilimsel yöntem, bilim felsefesinin başta gelen konularından biridir. İnsalığın en başarılı girişimlerinden biri olan bilimin tüm dallarını bütünlüklü bir şekilde kapsayabilecek bir yöntemin varlığı tartışılmalı olsa da gözlem ve deneylerden gelen verilerin, oluşturulan hipotez ve teorilerle olan uyumu tüm bilim dallarının en temel noktalarından birini oluşturur. Bu uyumu ortaya çıkarmak için mantıksal çıkarım yöntemlerinden yararlanan bilimsel aktiviteler için en iyi açıklamaya çıkarım yöntemi oldukça önemli bir yer tutar. Gözlemlenen olguları işaret eden farklı hipotezlerin belli teorik erdemler çerçevesinde seçilmesine yarayan bu çıkarım yöntemi bu makalenin temel bölümlerinden birini oluşturacaktır.

Makale, ikinci bölümde mantıksal çıkarımdaki tümdengelim ve tümevarım yöntemlerinin tanımlanması ve örneklenmesi ile başlayacaktır. Bilim dallarının bir şekilde dayanmak zorunda olduğu tümevarımın yarattığı felsefi sorunlar kısaca tartışıldıktan sonra, üçüncü bölümde teorik erdemler ışığında bilimsel yöntemlerden bahsedilecektir. Naif tümevarımcılık anlayışının anlatılacağı dördüncü bölümde ise Bacon'ın aklın putları ismini verdiği erdemleri, günümüz modern bilimi ışığında yorumlanacaktır. Bu tümevarımcılık yönteminin sorunları açıklandıktan sonra, beşinci bölümde bu sorunlardan daha az etkilenmesi amacıyla geliştirilmiş hipotetik-tümdengelimsel yöntem tanımlanacak ve tartışılacaktır. Makalenin temel bir parçasını oluşturan ve bilimsel yöntemin en önemli araçlarından biri olan en iyi açıklamaya çıkarım yöntemi, altıncı bölümde ayrıntılı bir şekilde incelenecek olup, teorik fizikten önemli örneklerle desteklenecektir. Yedinci bölümde ise hipotetik-tümdengelimsel yöntem ışığında matematiksel fiziğin yöntemlerine odaklanılacaktır. Matematiksel fizikçilerin ellerindeki en önemli aletlerden olan soyutlama, idealleştirme ve genelleme kavramları tartışılacak ve temel fizik literatüründen gelen örneklerle ayrıntılandırılacaktır.

2 Çıkarım Yöntemleri

Mantıksal akıl yürütmede kullanılan iki temel çıkarım yöntemi bulunur:

1. Tümdengelim (deduction),
2. Tümevarım (induction).

Tümdengelim, argümandaki öncüllerin doğruluğunun sonucun doğruluğunu mantıksal açıdan zorunlu kıldığı yöntemdir. Sık karşılaşılan ve oldukça yararlı tümdengelim türleri, modus ponens

$$\begin{aligned} (\ddot{O}1) & P \implies Q \\ (\ddot{O}2) & P \\ (S) & Q \end{aligned} \tag{2.1}$$

ve modus tolens

$$\begin{aligned} (\ddot{O}1) & P \implies Q \\ (\ddot{O}2) & \neg Q \\ (S) & \neg P \end{aligned} \tag{2.2}$$

olarak bilinir. Bu iki türün dışında kalan aşağıdaki klasik örnekte öncüller sonucu zorunlu kıldığı için bu çıkarım tümdengelimlidir:

- (Ö1) Her insan ölümlüdür.
- (Ö2) Sokrates bir insandır.
- (S) Sokrates ölümlüdür.

Eğer tümdengelimsel bir argümanda sonucun yanlışlığı öncüllerin doğru olmasını beklenildiği gibi imkansız kılıyorsa, bu argüman geçerli (valid) olarak adlandırılır. Geçerli bir argümanın öncülleri doğru ise, bu argüman sağlam (sound) olarak adlandırılır. Yukarıdaki argüman hem geçerli hem de sağlamdır. Geçerli argümanların sonuçları, öncüllerinde bulunmayan yeni bir bilgi içermez. Ayrıca, geçerli bir argümanın öncüllerinin doğruluğu yine tümdengelimsel çıkarımlar ile gösterilmeye çalışılırsa sonsuz geriye gitme ya da döngüsellik gibi problemler ile karşılaşılabilir. Aksiyomatik sistemlerde, bu problemlerden kaçınmak için bazı “doğruluğu apaçık olan” öncüller, kanıt göstermek-sizin doğru kabul edilir. Örneğin, Öklid geometrisi doğru kabul edilen 5 aksiyom ve 5 postulat üzerine inşaa edilir [1]. Bu aksiyom ve postulatlardan tümevarımsal yöntemlerle Öklid geometrisinin teoremleri kanıtlanabilir.

İkinci çıkarım yöntemi tümevarım, öncüllerin sonucu kesin olarak kanıtlayamadığı fakat sonucun doğruluğuna olan inancı güçlendirdiği ya da sonucun doğru olma ihtimalini arttırdığı yöntemdir. Tümevarım, karşımıza sıklıkla şu sayımsal formda çıkar:

- (Ö) Bugüne kadar gözlenmiş her Q , P 'dir.
- (S) Her Q , P 'dir. (2.3)

Yine klasikleşmiş bir örnek olarak aşağıdaki tümevarımsal çıkarım alınabilir:

- (Ö) Bugüne kadar gözlenmiş tüm kuzgunlar siyahtır.
- (S) Tüm kuzgunlar siyahtır.

Tümdengelim benzer bir şekilde, öncüllerin sonucun doğruluk ihtimalini gerçekten arttırdığı argümanlara güçlü (strong) argüman denir. Güçlü bir argümanın öncülleri doğru ise, bu argüman inandırıcı (cogent) olarak adlandırılır. Yukarıdaki örnek, albino kuzgunlar gözlendiği için güçlü ve inandırıcı değildir. Tümevarımsal problemlerden ötürü ve güçlü argümanların sonucun doğruluk ihtimalini neye göre arttırdığı tam olarak belirli olmadığı için, bu tanımlar geçerli ve sağlam tümdengelimsel argümanlara göre daha seyrek kullanılır.

İlk olarak Hume tarafından kapsamlı bir şekilde analiz edilen tümevarım problemi, sayımsal formdaki (2.3) tümevarımsal çıkarımın çalışabilmesi için doğanın eşbiçimli (uniform) olduğuna dair bir ilkenin kabul edilmesi gerektiğine dair yapılan bir gözlemi baz alır [2]. Doğanın eşbiçimli olması ilkesi, gelecekte yaşanan olayların geçmiştekilere benzer bir şekilde meydana gelmesi gerektiğini söyler. Hume bu ilkenin tümevarımsal ya

da tümdengelsel bir Şekilde gösterilemeyeceğini ve dolayısıyla tümevarımsal yöntemlerle yapılan çıkarımların temelsiz olduğunu iddia eder. Pek çok düŐünür, bu ilkenin doğruluğu ortaya konarsa tümevarım probleminin ortadan kalkacağını düŐünür. EŐbiçimlilik ilkesinin felsefi bir sistem tarafından içerilmesi için 3 yol vardır [3]:

1. Ampirik bir Şekilde ortaya konmuŐ bir gerçeklik olarak almak (John Stuart Mill),
2. *A priori* bir Şekilde ortaya konmuŐ bir gerçeklik olarak almak (Immanuel Kant),
3. Kanıtlanamayacağı ve zorunlu bir Şekilde gerekli olduğu için postulat olarak almak (Bertrand Russell).

Tümevarım ile ilgili ortaya atılmış tek problem bu değildir. Goodman'ın "yeni tümevarım bilmeceŐi", her yüklemin (predicate) tümevarımsal çıkarımda kullanılmaya uygun olmadığını ortaya koyar [4]. Örneğin, yeŐil ve mavi kelimelerinin karıŐımından "yeŐvi" (green + blue = grue) denilen bir yüklemin, 't zamanından önce gözlenirse yeŐil, aksi halde mavi olma özelliği' olarak tanımlansın. Bu t anından önce gözlenen bütün zmrtler yeŐilse, sayımsal tümevarım çıkarımını kullanarak tüm zmrtlerin yeŐil olduğu sonucuna varılabilir. Aynı Şekilde, bütün zmrtlerin yeŐvi olduğu sonucu da sayımsal tümevarımdan izler. Bu iki sonuç t anından sonra gözlenecek zmrtlerin sırasıyla yeŐil ve mavi olması gerektiğini söylediği için, tümevarım tutarsız bir duruma yol açar. Bu rnek, ancak izdŐlebilir (projectible) diye adlandırılan yüklemlerin tümevarım için uygun olduğunu gösterse de hangi yüklemlerin izdŐlebilir olduğu sorusu da tartıŐmaldır [5].

3 Bilimsel Yöntem

Bilimsel etkinliklerde gözlemsel, deneysel, matematiksel veya veri analizine dair pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler, bilim dalları arasında değişiklik gösterdiği gibi aynı dalın içindeki bilim insanları tarafından da farklı Őekillerde yorumlanabilir. Bu yöntemlerin bir araya gelerek bir bütün oluŐturduđu ve teorik erdemlerin ışığında sistematikleŐtirildiđi çerçevelere ise bilimsel yöntem denir. Daha formel bir Şekilde ifade edecek olursak, bir bilimsel yöntem, bir (K, E) ikilisi ile iliŐkilendirilir. Burada $K := \{k_1, \dots, k_n\}$ bir yöntemsel kurallar kümesi ve $E := \{e_1, \dots, e_m\}$ de bir teorik erdemler kümesidir. Bu (K, E) ikilisinden bir ilkeler kümesi $I := \{i_{11}, \dots, i_{nm}\}$ elde edilir [6]. Bu ilkeler, Şu formdaki hipotetik Őartlardan (hypothetical imperative) oluşur: i_{ij} ilkesi, " e_i erdemine sahip olmak için k_j kuralı uygulanmalıdır" Őekindedir. Birbirleriyle uyumlu erdem ve kurallardan oluşturulmuş ilkelerin kümesi, bilimsel yöntemin yapı taŐlarını oluşturur. Bu ilkelere bariz bir örnek olarak "yanlıŐlanabilirlik erdemine sahip olmak için yanlıŐlanamaz teoriler dikkate alınmamalıdır" düşünülebilir. Bir diğer örnek "açıklama gücü erdemine sahip olmak için öncüllerinin baŐarılarının yanında yeni baŐarılar elde edebilen teoriler dikkate alınmalıdır" verilebilir. Bu erdem ve kural kümelerinin içeriğinde olduğu gibi, tüm bilimleri kapsayacak bir bilimsel yöntemin varlığı da tartıŐmaldır. Örneğin, Popper ve Lakatos bu varlık sorusuna olumlu yanıt

verilebileceğini düşünürken, Kuhn'a ve bilim karşıtlığı derecesine varıncaya dek yöntem eleştirisinde bulunmuş Feyerabend'e göre bu yanıt olumsuzdur [6].

Bilimsel yöntem sıklıkla iki ana bağlama bölünerek incelenir: keşif bağlamı (context of discovery) ve gerekçelendirme bağlamı (context of justification) [7]. Olgusal dünyadan gözlem ve deney yoluyla kazanılmış deneyimler sonucu kavramsal dünyaya geçiş, keşif bağlamında kalır. Keşif bağlamı sonucunda ortaya hipotez ve teoriler çıkar. Çoğunlukla bilim insanının yaratıcılığına, zekasına ve psikolojisine dayanan keşif bağlamının belli bir yönteminin olmadığı iddia edilebilir [8]. Bu görüşe karşıt olacak şekilde bilgisayar programlarına algoritmik bir şekilde bilimsel yasa "keşfettirmek" mümkündür. Örneğin, BACON.5 isimli program, Kepler yasaları, momentum korunumu, Snell yasası gibi pek çok bilimsel hipotezi, verileri analiz ederek çıkarmayı başarmıştır [9]. Gerekçelendirme bağlamı daha yöntemli bir şekilde yapılması daha az tartışılan bir konu olup, teorilerin diğer kabul görmüş teorilerle ya da deneysel verilerle uyum gibi erdemlere dayanır. Gerekçelendirme bağlamında, keşif bağlamında oluşturulan teori ve hipotezler, teorik erdemler ışığında sistematik bir şekilde değerlendirilir. Keşif ya da gerekçelendirme bağlamları, özel gözlem ve deneyleri evrensel genellemelerle karşılaştırmaya dayandığı için, bilimsel yöntem ile tümevarımsal çıkarım yakın bir ilişkide olmak durumundadır.

4 Naif Tümevarımcılık

Bilimsel yöntemin sistematik bir şekilde incelenmesine dair çalışmaların kökenleri Aristoteles'e dayandırılabilir. Aristoteles'in bilim anlayışı, gözlem yaparak veri toplama ve bu verilerdeki düzenlerden yola çıkarak olası açıklamaları ortaya çıkarmaya dayanır. Dış dünyadaki gerçekler hakkındaki bilgiler ancak bu gerçeklerin aksiyomlardan zorunlu olarak çıkarıldığı tümdengelimsel bir argüman sayesinde mümkündür. Deneye yer vermeyen, matematik ve geometrinin doğa hakkındaki bilgiler için bir model olduğu bu anlayışı, rasyonalist ya da akılcı bir bakış açısıyla bağdaştırmak mümkündür.

Modern anlamda bilimsel yöntemin kurucusu ise Aristoteles'in bilim anlayışını yenilemeyi öneren Francis Bacon olarak görülebilir [10]. Bacon, Aristoteles'in tümdengelimsel bilim anlayışına karşı çıkarak, deneye ve tümevarıma dayalı bir yöntem önerir. Salt akıl yürütme yerine duyu organları ile dış dünyayı algılamaya dayanan ve deneyin merkezi öneme sahip olduğu bu anlayış, ampirizm ya da deneycilik olarak adlandırılır. Aristoteles'te olduğu gibi, Bacon'ın naif tümevarımcılık anlayışında da, bilimsel yöntem gözlem yaparak veri toplama ile başlatılır. Fakat bu gözlemlerin yanında, deneye ve deney sonuçlarından çıkan verilere daha büyük bir önem atfedilir. Gözlem sırasında bilim insanı olaylar üzerinde bir hükme sahip değildir, doğal bir şekilde gerçekleşen olayları kaydetmek zorundadır. Bu sebeple gözlemlerin tekrar edilmesi veya hangi faktörlerin neleri etkilediğinin kontrolünün yapılması oldukça zordur. Deneyde ise, başlangıç koşulları bilim insanının amaçlarına göre şekillendirilir ve bu yapay oluşumun gözlenmesi bilim insanlarına kontrol ve tekrar imkanı sunar. Bacon'a göre bu gözlem ve deneyler mümkün olduğunca nesnel bir şekilde analiz edilmeli ve sınıflandırılmalıdır. Analiz ve sınıflandırma sonucu çok sayıda tekrarlandığı gözlenen

gerçekler hakkında tümevarım kullanılarak genellemelere varılmalı ve bu genellemelerden tekrar deneyde gözlenebilecek öngörülerde bulunulmalıdır [11].

Bacon'a göre dış dünya hakkındaki bilgilerimizi tümdengelimsel anlamda geçerli olmayan tümevarımsal argümanlara dayandırmamız gerektiği için, bu argümanların güçlü olup olmadığı konusu büyük önem taşır. Bu yüzden, güçlü bir tümevarımsal argüman elde etmek için "zihnin putları" (idols of the mind) yıkılmalıdır. Yıkılması, bilim insanlarının şüpheli, sorgulayan ve nesnel yapıda olması gerektiğine dair hala geçerli olan erdem anlayışlarına uygun düşen bu putlar şu şekildedir [12]:

- **Kabile putu:** Gerçekte olandan fazla düzen algılama, sağduyuya fazla güvenme.

İnsan zihninin düzen algılama yetisi, insanlığın fiziksel ve toplumsal evrimi açısından oldukça önemlidir. Gökyüzünde gözlenen düzen, zamanın akışının düzenli bir şekilde anlamlandırılabilmesine yol açmış ve dolayısıyla astronomi, tarım gibi pek çok alanda önemli gelişmeler yaşanmasına sebep olmuştur. Fakat aynı düzen, insanlığın gökyüzü ile ilgili mitolojik hikayeler yazmasına sebep olmuş ve etkileri günümüzde hala devam eden dogmalara sebebiyet vermiştir. Günümüz modern bilimi açısından geçerli bir örnek ise, modellemelerin deneysel ve gözlemsel verilere aşırı uyumlu bir şekilde yorumlanması (overfitting) problemidir. Bu durum, yapay zeka ve makine-öğrenme uygulamalarında kabile putundan kaçınmayı bilgisayar programlarına öğretme konusunda karşımıza çıkmaktadır [13]. Günlük hayattan edindiğimiz sağduyularımıza yabancı gelen pek çok unsur, bilim tarafından sarsılmıştır. Zaman-genleşmesi, aynı anda birden fazla yerde olma vb. pek çok sağduyuya ilk bakışta aykırı duran kavram, bilimsel tartışmalarda önemli yer tutmuştur. Bunun yanında insanların deneyimleri yanıltıcı olabilmektedir, göz yanılmaları ya da halüsinasyonlar bu duruma örnek olarak verilebilir. Bacon'a göre bu deneyimleri dikkatli bir şekilde sistematik deneylerden elde etmek, doğanın gerçekliğini anlamak için oldukça önemlidir [14]. Bu deneyimleri sağduyuyu temel alan bir şekilde anlamlandırmaya çalışmak, yukarıdaki örneklerden anlaşılabilceği gibi bilimin ilerlemesine katkı sağlamayacaktır: Hiç kimse dinazorların kuşların ataları olduğunu, dünyadaki tektonik levhaların hareket ederek zaman zaman birbirleriyle çarpıştığını sağduyudan yola çıkarak iddia etmemiştir [16]. Bu anlayışa sahip Ladyman ve Ross, daha natüralist bir metafizik inşaa etmeyi amaçladıkları için metafiziğin bilimi örnek olarak sağduyuya uygunluğu umursamaması gerektiğini iddia ederler. Ancak bilim sağduyuya ve duyuusal deneyimlerimize körü körüne inanmamayı öğretse de, ilgilendiği kavramların neden sağduyumuz tarafından bu hatalı şekliyle algılandığına dair de açıklamalar sunmaya çalışmaktadır; bilimsel teoriler "klasik limitler" altında bu kavramların beklentilerimize daha yakın bir hale dönüştüklerini göstermektedir.

- **Mağara putu:** Kişisel seçimlerin etkisinde kalma.

Bilimsel çalışmalarda insanların değer yargılarının etki edebileceği 4 adım bulunur [17]:

1. Çalışılacak araştırma konusunun seçilmesi,
2. Bu konuyla ilgili bilgilerin bir araya getirilmesi,

3. Bilimsel hipotez ya da teorilerin elde edilen kanıtlara göre kabul edilmesi,
4. Bilimsel sonuçların uygulamaları ve yaygınlaşması.

Araştırma konusunun seçimiyle ilgili adım (1), bilim insanlarının ilgileri, içinde bulunan bilimsel paradigma, kaynak sağlayan kurumlar gibi faktörlerden etkilenir. Benzer bir şekilde bilimsel sonuçların yaygınlaşmasıyla ilgili adım (4), bilimsel dergilerin kurullarından ve araştırma süreçlerinde öne çıkmış kurumlardan etkilenir. Bilimin nesnelliği açısından adım (2) ve (3) daha önemli olup, değer yargılarının bu adımlara olan etkilerinde dikkatli olunmalıdır. Bu değer yargılarını iki ana bağlamda incelemek mümkündür. Birincisi, önceki bölümde bahsedilen teorik erdemler olup, nesnellik açısından problem yaratmazlar. İkinci tip değer yargıları ise kişisel, kültürel ya da siyasal vb. değerlerle ilgilidir. Bilim insanları, bilimin nesnellğine yönelik bir tehdit oluşturan bu tip değerleri en aza indirmeye çalışmalıdır [18]. Bilim camiasında, bu amaca hizmet eden bazı mekanizmalar bulunur. Çoğu deney, oldukça gelişmiş pek çok farklı yöntem gereksinim duyduğu için, araştırma grupları tarafından gerçekleştirilir. Ekip çalışması olan bu süreçlerde bir kişinin yargılarından etkilenme ihtimali azaltılmış olur. Ayrıca yapılan deneylerin kabul edilmeleri için başka ekipler tarafından da titizlikle incelenip aynı şekilde tekrarlanabilir olması gerekmektedir. Bir diğer mekanizma da bilimsel süreçlerin en kilit noktalarından biri olan hakemli dergilerdir. Bilimsel sonuçlarını yayınlamak isteyen bilim insanları makalelerinin bilimsel dergilerde basılması için başvurduklarında, makale dergilerin kurulları tarafından bu konuda uzman birkaç hakeme gönderilir. Bu hakemler, yayını detaylı bir şekilde inceleyerek sonuçlarını kontrol eder ve gereken durumlarda düzeltme isteği ya da önerilerde bulunurlar. Bu hakem süreci bazı durumlarda yıllarca sürebilmektedir ve bu süreçten geçmemiş hemen hiç bir yayın bilim insanları tarafından ciddiye alınmaz. Benzer bir şekilde, kendini kanıtlayamamış ya da özensiz ve kalitesiz dergilerde basılan makaleler de bilim insanları tarafından genel kabul görmez. Elbette kaliteli bir hakem sürecinden geçen yayınlarda da bazı hataların olması mümkündür. Bu hataların önüne geçmek için bilim insanları hatalı olduğunu düşündükleri bir yayın gördükleri zaman bu yayınlara ilgili yorumların yer aldığı makaleler yazabilir. Örneğin, geçtiğimiz yıl matematiksel fizik açısından önemli bir gelişme olan daha önce inşaa edilememiş 4 boyutlu Einstein-Gauss-Bonnet kütleçekim teorisiyle ilgili bir makale oldukça saygı gören bir dergide hakem süreci sonrası basılmıştır [19]. Sonrasında bu makaleyi temel alan onlarca yayının daha oluşmasına rağmen, pek çok bilim insanı tarafından bu teorinin tutarsızlığı açık bir şekilde gösterilmiştir. Bu tutarsızlığın en önemli kanıtlarından birini sunan Metin Gürses, Tahsin Çağrı Şişman ve Bayram Tekin'in makalelerinin başlığı "4 Boyutta Yeni Bir Einstein-Gauss-Bonnet Teorisi Var Mıdır?" ve özetinin ilk cümlesi "Hayır!" durumu çok net bir şekilde özetlemektedir [20]. Bu tarz yanlışların önüne geçilmesinin diğer bir yolu da makalelerin yayınlamasının öncesi ve sonrasında araştırmayla ilgili değişik kurum ve toplantılarda seminerler vermektir. Böylece araştırmannın o daldaki uzmanlar tarafından ilk ağızdan duyulması, olası hataların ortaya çıkması ve görüş alışverişi sağlanır.

- **Pazaryeri putu:** Dilsel ya da terimbilimsel yanlışlıklardan kurtulamama.

Dilin mantıksal çıkarımlar ya da genel düşünceler üzerindeki etkisi yadsınamaz. Bir düşünceyi başkasına aktarmak ve ortak bir fikir birliğine varmak için dil ile iletişim kurmamız gerekmektedir. Gerçek olmayan şeylere verilmiş isimler ya da gerçek olan şeylere atanmış düzgün tanımlı olmayan isimler kafa karışıklığı yaratmaktadır [14]. Frege'nin klasik örneğini düşünecek olursak, Venüs gezegeni eski uygarlıklar tarafından hem sabah yıldızı hem de akşam yıldızı olarak isimlendirilmiştir [15]. Halbuki, bu iki *yıldızın* aynı gök cismine, yıldız olmayan bir gök cismine, gönderme yaptığı sonradan anlaşılmıştır. Bu tip dilsel sorunlardan *görece* az etkilenen matematik, teorik fiziğin de dilsel zeminini oluşturur. Bir teori kapsamında ele alınan bir terim *çoğunlukla* matematiksel olarak iyi tanımlanmıştır ya da terim iyi tanımlanmamışsa bu durum o noktada atılması gereken adımlar olduğuna işaret eder. Örneğin, kütle kavramı klasik mekanikte kuvvet ile ivme arasındaki orantı sabitidir ya da özel görelilikte cismin durağan olduğu referans çerçevesindeki enerjisidir. Teoriden çıkıp olgusal dünyaya geçtiğimizde kütlenin neye gönderme yaptığı sorunu ayrı bir problemdir; kütlenin doğal tür olarak var olduğu ya da teorideki kütle kavramının bu doğal türe gerçekten gönderme yaptığı cevaplanması gereken felsefi ve bilimsel problemler olarak karşımıza çıkar. Bu sorulara rağmen, Kuhn'un [21] iddia ettiği gibi klasik mekanik ve özel görelilikteki kütle kavramları eşölçülemezliği (incommensurability) desteklemez, aksine bu iki kavram tam olarak örtüşmektedir; çünkü görelî kütle terimi, efektif bir bağlamda kullanılsa da, teorik fizikçiler açısından kabul görmüş bir kavram değildir [22], [23].

- **Tiyatro putu:** Felsefi sistemlere saplanma.

Bilim insanlarının yerleşmiş felsefi dogmalardan kendini arındıramaması bilimsel ilerleme yönünde ciddi bir engel teşkil etmektedir. Örneğin Bacon'ın çağına kadar teolojik amaçlar felsefe anlayışında oldukça baskın olmuş ve pek çok farklı bilim dalının ilerleme hızının yavaş olmasına sebep olmuştur. Daha güncel bir örnek olarak, aşırı pozitivist tutumlar fiziğin en önemli problemlerinin bazılarının bilim insanları tarafından göz ardı edilmesine sebep olabilmektedir. Örneğin, kuantum mekaniğinin çözülmemiş en temel problemlerinden biri olan ölçüm problemi ya da kuantum mekaniğinin bazı farklı yorumlarının günümüz imkanlarıyla deneysel anlamda ayırt edilemiyor olması, pek çok fizikçi tarafından "sus ve hesapla" mantığıyla görmezden gelinmektedir. 8 farklı üniversiteden 149 fizikçi ile yapılan bir anket çalışmasında, ölçüm probleminin bir problem olmadığını (ya da sahte-problem olduğunu) söyleyenlerin oranı %17 iken, bu problemin eşevresizlik (decoherence) ile çözülmüş olduğunu düşünenlerin oranı %29'dur [24]. Eşevresizlik fikrinin öncülerine göre dahi ölçüm probleminin bu fikir tarafından çözülmeyeceği, temel kaynaklarda açıkça belirtilmektedir [25]. Benzer bir tutum büyük patlama öncesinde ne olduğuna dair soruların anlamsız olduğu iddialarında da görülebilir. Bu soru anlamsız olmadığı gibi, pek çok farklı bilim insanı bu konu üstünde çalışmalarına devam etmektedir [26].

Bu naif tümevarımsal yönteme pek çok itirazda bulunulabilir. Bunlardan en önemlileri bir önceki bölümde bahsedilen "tümevarım problemleri" olup, yöntemin diğer

sorunları şu şekilde sıralanabilir: Deney ve gözlem yaparken alakalı olan gerçekliklerin seçilmesi için öncesinde bazı hipotezler gereklidir. Hiç bir hipotez ortaya atılmadan rastgele gözlem yapmak çok yarar sağlamayacaktır. Benzer bir şekilde nasıl bir analiz ya da sınıflandırma yapılması gerektiği, hipotez öncesinde çok açık değildir [27]. Örneğin, 1965 yılında bilim insanları Arno Penzias ve Robert Wilson, radyo antenlerinde yaptıkları deneylerde, gökyüzünün her tarafına oldukça düzgün dağılmış bir “gürültü” tespit etmiştir [28]. Bu gürültünün kaynağını yok etmek için giriştikleri anten üzerindeki kuş pisliklerini temizlemeye varan çabalar tüm uğraşlarına rağmen boşa çıkmıştır. Bu deneysel verilerin önemi teorik fizikçiler Ralph Alpher ve Robert Herman’ın [29] tam 16 yıl önce öngördüğü, evrenin sıcak ilk evrelerinden geriye kalan kozmik arka alan ışıması ile uyduğu görüldüğüne anlaşılmıştır. Her ne kadar gözlem sonuçları elde edilmiş olsa da, teorik bilgiler göz önüne alınmadığı için bu gözlemin önemi en başta kavranamamıştır. Ayrıca, gözlem ve deneylerin teorilerden tam anlamıyla bağımsız olamayacağına dair görüşler de mevcuttur [21]. Genellemelere ulaşmak için tümevarımın keşif bağlamında kullanılması Newton ve Mill gibi düşünürlerde de kendini gösterse de, modern anlamda tümevarımın rolü gerekçelendirme bağlamına kaymıştır [10].

5 Hipotetik-Tümdengelimsel Yöntem

Hipotetik-tümdengelimsel yöntem, adından da anlaşılacağı üzere iki önemli ana parçadan oluşur: Hipotetik kısmı, bilim insanlarının herhangi bir kaynağa dayanarak keşif bağlamında hipotez ve teoriler yaratmasını, tümdengelimsel kısmı ise bu hipotez veya teoriden tümdengelimsel çıkarım kullanılarak bazı sonuçlara varılmasını içerir. Çıkarılan bu sonuçların deneysel ve gözlemsel verilerle karşılaştırılarak hipotezin kabul edilmesine ya da elenmesine karar verilir. Test edilebilecek sonuçlara tümdengelimsel bir şekilde ulaşılması, bu aşamada tümevarımsal problemlerin ortadan kalkmasına neden olsa da, deney ile karşılaştırma aşamasında tümevarımsal çıkarım kullanılarak hipotez ile ilgili bir karara varılır. Bu yüzden bu yöntem de tümevarımın yarattığı problemlerden tam olarak kurtulabilmiş değildir. Hipotetik-tümdengelimsel yöntemin adımları, dahay ayrıntılı olarak şu şekilde sıralanabilir [30]:

1. *A priori* bir şekilde hipotez ya da teori oluşturma,
2. Bu hipotezleri kabul ederek, tümdengelimsel bir şekilde belli sonuçlara vararak öngöründe bulunma,
3. *A posteriori* bir şekilde bu öngörülerini deneyle sınaama,
4. Deneyler, öngörü ile uyumluysa hipotezin kabul edilmesine; ya da uyumsuz olma durumunda hipotezin elenmesine karar verme.

Bir sonraki bölümde ayrıntılı işlenecek olan en iyi açıklamaya çıkarımda olduğu gibi bu karar verme aşamasında da mantık kurallarından çıkarılamayan bir yöntem kullanılmak durumundadır. Hipotezler direkt olarak test edilen kavramlar olmadığı için, oluşturulan

H hipotezinin gerektirdiği bir Q öngörüsü deneye tabi tutulur ve bu Q öngörüsünün gerçekleşmesi durumunda hipotez kabul edilir:

$$\begin{aligned}
(\ddot{O}1) \quad & H \implies Q \\
(\ddot{O}2) \quad & Q \\
(S) \quad & H.
\end{aligned} \tag{5.1}$$

Bu çıkarım modus ponense (2.1) benzese de, kesinlikle tümdengelimsel olarak geçerli bir argüman değildir. Hipotezin elenmesi ise şu şekildeki bir çıkarımla yapılır:

$$\begin{aligned}
(\ddot{O}1) \quad & H \implies Q \\
(\ddot{O}2) \quad & \neg Q \\
(S) \quad & \neg H.
\end{aligned} \tag{5.2}$$

Görülebileceği gibi bu çıkarım tümdengelimsel olarak geçerli modus tolens (2.2) formundadır. Popper'ın yanlışlamacılık (falsificationism) erdemini bilimsellik kavramının en önemli öğelerinden biri olarak görmesi bu tümdengelimsel geçerliliğidir. Buna göre bir teori ancak yanlışlanabilir öngörülerde bulunduğu sürece bilimseldir ve bilim, teorilerin yanlışlanmaya çalışılması ile ilerlemektedir [8].

Burada araştırılan H hipotezi çoğunlukla başka hipotezlerle bütünlüklü bir şekilde gelir. Örneğin, Newton'ın hareket yasaları 3 ayrı önerme şeklindedir; ya da Einstein'ın özel görelilik teorisi 2 aksiyomu baz alarak inşaa edilir. Bunun yanında deney yapılırken, hipotezin en genel hali değil, deney düzeneğinde kullanılan özel sistemin bu hipoteze uyumlu olup olmadığına bakılır. Bunun gibi sebeplerle hipotezin kendisi test edilemediği için, incelenen fiziksel durumla ilgili ek bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ek bilgiler şu şekilde sıralanabilir [7]:

- **Deneyi ya da gözlemi yapılan fiziksel sistem ile ilgili bilgiler (SB):**

Örneğin, genel görelilik kuramının Güneş Sistem'i üzerine etkisini gözlemlemek için gezegenlerin sayısı, kütleleri, birbirlerine ve Güneş'e göre konumlarına dair bilgiler gereklidir; ya da lazerler üzerine olan teorileri test etmek için deney yapılan lazerin hangi şekilde ışına yapacağı bilinmelidir.

- **Fiziksel sistemin başlangıç koşulları (BK):**

Bir önceki maddede verilen bilgilere ek olarak sistemin deneye başlanırken hangi durumda olduğuna dair veriler gerekmektedir. Bu başlangıç koşullarına dair bilgiler, hem deneyde yapılacak ölçümler için gereklidir hem de teorik olarak yapılacak hesaplar için bu bilgilerin varlığı çoğu zaman zorunludur. Bu zorunlulukla çoğu zaman, fizikteki pek çok öngörünün temelinde diferansiyel denklemlerin yatmasının bir sonucu olarak karşılaşılır. Örneğin, Newton'ın kuvvet (F), kütle (m) ve ivme (a) arasındaki ilişkiyi betimleyen temel hareket yasası $F = ma$, bir diferansiyel denklemdir. Çünkü hızın (v)

değişme miktarı olarak tanımlanan ivme konumun (x) zamana (t) göre ikinci türevi-
dir. Kuvvet olarak sabit bir yerçekimi ivmesi ($-g$) ile verilecek Dünya'nın yarattığı
kütleçekimi, yani ağırlık, alınrsa, şu şekilde bir denklemler dizisi elde edilir:

$$a = -g \quad \implies \quad v = -gt + v_0 \quad \implies \quad x = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + x_0. \quad (5.3)$$

Burada v_0 ve x_0 , sırasıyla başlangıç hızı ve başlangıç konumudur. Bu iki bilgi elde
edilmeden teorik olarak hız ve konum fonksiyonlarını elde etmek ve deneysel verileri
anlamlandırmak mümkün değildir.

- **Yerleşmiş arka plandaki teoriler (T):**

Çoğu hipotez hali hazırda kabul görmüş teorilere dayanmak durumundadır. Örneğin,
bir sistemin sıcaklık değişimi altında nasıl tepkiler verdiği inceleneceği zaman, sıcaklık
ölçümüyle ilgili teoriler kabul edilmek durumundadır. Deneydeki amaç bu teorilerin
test edilmesi olmasa da, deney düzeneğinden gelen bilgilerin yorumlanması için bu
teorilerden faydalanılmalıdır.

- **Sistemin gereksiz faktörlerden ayrık bir yapıda olma varsayımı (Y):**

Herhangi bir sistem üzerinde belli bir fiziksel büyüklüğün ölçümüne dair deney yapar-
ken, olgusal dünyadaki pek çok farklı etken bu sistemi etkileyebilir. Örneğin, teoride
kütleçekim hesaba katılmasa da Dünya üzerinde yapılacak herhangi bir deneyde ilgili
ya da ilgisiz bir şekilde kütleçekimi deney düzeneği üzerinde bir etkiye sahiptir. Bunun
gibi faktörlerin deneysel sistemi etkilemediği varsayılmalıdır; bu durum 7. bölümde
daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacak idealleştirme ile ilgilidir. Çoğu zaman bu ide-
alleştirmeler sınanması istenen hipotezin diğer faktörlerden ayrık olmasına dayanır ve
olgusal dünyada da bu idealleştirmenin karşılık geldiği durumun gerekçelendirilmesi ge-
rekmemektedir. Örneğin, Güneş sistemi gerçeğe uygun bir şekilde modellenirken sadece
Güneş ve gezegenlerin değil irili ufaklı tüm asteroitlerin ve hatta kütlesi sıfır olmayan
bakterilerin bile hesaba katılması gerekmektedir. Bu kadar gerçekçi bir model pratik
açıdan hiç bir yarar sağlamayacağı gibi konunun özünü kavramamıza da engelleyecek-
tir. Bu yüzden amaç asteroitlerin hareketini incelemek olmadığı sürece Güneş sistemi
sadece Güneş ve gezegenlerden oluşuyormuş gibi modellenebilir ve bu ayrık olma var-
sayımı deneysel verilerde bir tutarsızlık çıkmadığı sürece yapılabilir.

Bu ek bilgilerin ışığında hipotetik-tümdengelsel yöntemin çıkarımı (5.1) şu şekilde
modifiye edilebilir:

$$(Ö1) (H \wedge SB \wedge BK \wedge T \wedge Y) \implies Q$$

$$(Ö2) Q$$

$$(S) H \wedge SB \wedge BK \wedge T \wedge Y.$$

Fakat bu modifiye etme işlemi bizi Quine-Duhem tezinin yarattığı soruna götürür: Bu
teze göre herhangi bir hipotezi, tüm hipotezler kümesi içerisinde tek başına ayırıp bu

hipotezi izole bir şekilde test etmek mümkün değildir [31]. Bu sorunu anlamak için hipotezin elendiği modus tolens formu (5.2) modifiye edilirse şu şekilde bir çıkarım elde edilir:

$$\begin{aligned} (\ddot{O}1) \quad & (H \wedge SB \wedge BK \wedge T \wedge Y) \implies Q \\ (\ddot{O}2) \quad & \neg Q \\ (S) \quad & \neg(H \wedge SB \wedge BK \wedge T \wedge Y). \end{aligned}$$

Buradaki S önermesi de Morgan kuralıyla eş değer olarak şu formda yazabilir:

$$(S) \quad \neg H \vee \neg SB \vee \neg BK \vee \neg T \vee \neg Y. \quad (5.4)$$

Bu önermeden varılabilecek sonuç ise H, SB, BK, T ve Y önermelerinden en az bir tanesinin yanlış olduğudur, bu yüzden H hipotezinin mi yoksa diğer ek bilgilerin mi elenmesi gerektiğine dair bir sonuca ulaşılamaz. Bu duruma tarihi bir örnek vermek için Neptün ve Vulkan gezegenleri dikkate alınabilir [32]. Newton’ın hareket ve kütleçekim yasaları ile zamanın bilinen gezegenlerine dair bilgiler kullanılarak Uranüs gezegeninin yörüngesi hesaplandığı zaman bir uyumsuzluk olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, ek bilgilerden sadece $SB_1 =$ “7 gezegen vardır” önermesine ve $H_1 =$ “Newton yasaları geçerlidir” hipotezine odaklanarak şu şekilde formüle edilebilir: $Q_1 =$ “Uranüs’ün yörüngesi X_1 şeklindedir” önermesi ise,

$$\begin{aligned} (\ddot{O}1) \quad & (H_1 \wedge SB_1) \implies Q_1 \\ (\ddot{O}2) \quad & \neg Q_1 \\ (S) \quad & \neg H_1 \vee \neg SB_1. \end{aligned}$$

Bu durumda “Newton yasaları hatalıdır” veya “Güneş Sistemi’ndeki gezegen sayısı 7’den farklıdır” sonucuna varılabilir. Zamanın astronomları SB_1 önermesinin yanlış olduğunu düşünerek yeni bir gezegen arayışına başlamışlar ve nitekim Neptün gezegenini keşfetmişlerdir. Bu durumda fiziksel sisteme dair bilgiler $SB_2 =$ “8 gezegen vardır” şeklinde değiştirilmiştir. Uranüs’ün yörüngesindeki uyumsuzluğa benzer bir durum Merkür gezegeni için de yaşanmıştır. Yukarıdaki örneğe benzer bir şekilde formüle edersek; $Q_2 =$ “Merkür’ün yörüngesi X_2 şeklindedir” önermesi ise,

$$\begin{aligned} (\ddot{O}1) \quad & (H_1 \wedge SB_2) \implies Q_2 \\ (\ddot{O}2) \quad & \neg Q_2 \\ (S) \quad & \neg H_1 \vee \neg SB_2. \end{aligned}$$

Aynı şekilde varılacak sonuç, “Newton yasaları hatalıdır” veya “Güneş Sistemi’ndeki gezegen sayısı 8’den farklıdır” olmalıdır. Bu sebeple, astronomlar Merkür gezegenine yakın Vulkan ismi verilen bir gezegen olduğuna dair düşünceler geliştirmişse de yapılan tüm gözlemlere rağmen böyle bir gezegen bulunamamıştır. Newton yasalarının reddelmesini

gerektiren diğer çözüm yöntemi ise Einstein tarafından başarılmıştır. $H_2 =$ “Einstein’ın genel göreliliği geçerlidir” hipotezini ortaya atarsak, Merkür’ün yörüngesi hakkında teori ve deney uyumlu sonuçlar vermektedir. Newton’ın kütleçekim yasasıyla açıklanan bütün gözlem ve deneylerin, Einstein’ın genel görelilik teorisiyle de hala açıklanabiliyor olması için Einstein’ın teorisi belli limitler altında Newton teorisine dönüşmelidir. Genel görelilikten elde edilen geodezik denklemlerinin göreliliği olmayan (non-relativistic) ve düşük kütleçekimli (weak-field) limiti alındığında Newton kütleçekim yasasından elde edilen Poisson denklemine dönüşmesi, genel göreliliğe olan güveni arttıran bir teorik erdemdir [33]. Bu örneklere benzer bir durumla günümüz fiziğinde de karşılaşılmaktadır. Yıldızların içinde buldukları galaksinin merkezi etrafındaki dönüş hızları Einstein ya da Newton’ın teorileriyle uyumlu değildir [34]. Çözüm için ya Einstein teorisi modifiye edilmeli ya da galaksilerde direkt olarak gözlemleyemediğimiz “kara madde” var olmalıdır.

6 En İyi Açıklamaya Çıkarım

Bilimsel yöntem için oldukça önemli olan tümevarımsal çıkarımın bir alt türü, en iyi açıklamaya çıkarım (inference to the best explanation), genel olarak şu formdadır:

$$\begin{aligned}
 (\text{Ö1}) \quad & P \implies Q \\
 (\text{Ö2}) \quad & Q \\
 (\text{Ö3}) \quad & P, Q \text{ için en iyi açıklamadır.} \\
 (\text{S}) \quad & (\text{Muhtemelen}) P.
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Bu çıkarım (Ö3) öncülü haricinde, modus ponense (2.1) benzese de, öncüller sonucu mantıksal açıdan zorunlu kılmaz. En iyi açıklamaya çıkarıma örnek olarak aşağıdaki argüman verilebilir:

$$\begin{aligned}
 (\text{Ö1}) \quad & \text{Yağmur yağarsa yerler ıslanır.} \\
 (\text{Ö2}) \quad & \text{Yerler ıslak.} \\
 (\text{Ö3}) \quad & \text{Yerlerin ıslak olması için yağmurdan daha iyi bir açıklama mevcut değil.} \\
 (\text{S}) \quad & (\text{Muhtemelen}) \text{ Bir süre önce yağmur yağıyordu.}
 \end{aligned}$$

Görüldüğü gibi yerlerin ıslak olması yağmur yağmış olmasını mantıksal olarak gerektirmez; örneğin yerler bir kişi tarafından sulanmış olabilir. Elbette, en iyi açıklamaya çıkarım yaparken farklı pek çok unsur, öncül olarak ele alındıkça argümanın gücü artar. Örneğin, birkaç saat önce gök gürültüsüne benzer seslerin duyulmuş olması ya da çok büyük bir alanın ıslanmış olması bu argümanı kuvvetlendirir; fakat hiçbir zaman yağmur yağdığını *tam olarak* kanıtlamaz. Daha bilimsel bir örnek vermek için evrenin başlangıç zamanlarında üssel bir genişleme gösterdiğini ifade eden enflasyon (inflation) teorisi düşünülebilir [35]:

- (Ö1) Üssel genişleme \implies evrendeki madde dağılımı oldukça düzgündür.
- (Ö2) Üssel genişleme \implies uzayzaman geometrisi düze yakın olmalıdır.
- (Ö3) Üssel genişleme \implies manyetik tek-kutup yoğunluğu çok düşüktür.
- (Ö4) Evrende madde dağılımı düzgündür.
- (Ö5) Uzayzaman geometrisi düz veya düze çok yakındır.
- (Ö6) Manyetik tek-kutup gözlemlenmemiştir.
- (Ö7) Bu olgular için enflasyon teorisinden daha iyi bir açıklama bulunmamaktadır.
- (S) (Muhtemelen) Enflasyon teorisi doğrudur.

Fizikteki oldukça önemli 3 problem için aynı anda çözüm sunan enflasyon teorisi, büyük ölçüde kabul görse de hala tartışmalı yanları olan bir konudur. Çünkü üssel genişlemenin öngördüğü fakat gözlemlenmemiş olgular ya da bazı teorik sorunlar vardır. Örneğin, üssel genişlemeyi yaratacak enflasyon alanına karşılık gelen yeni -belki de zaten standart modelde yer alan Higgs parçacığı olabilecek- bir parçacık ya da enflasyon döneminden Hubble genişlemesine geçişteki faz geçişinin ayrıntıları gibi. Daha yerleşmiş teorilerden bir örnek olarak Einstein'ın görelilik kuramlarına bakılabilir:

- (Ö1) Görelilik \implies zaman genişmesi
- (Ö2) Görelilik \implies karadelikler
- (Ö3) Görelilik \implies genişleyen evren
- (Ö4) Görelilik \implies Merkür'ün yörüngesi
- (Ö5) Görelilik \implies kütleçekim dalgaları
- (Ö6) Bu 5 olgu da ayrı gözlemler tarafından doğrulanmıştır.
- (Ö7) Bu olgular için görelilik teorisinden daha en iyi bir açıklama bulunmamaktadır.
- (S) (Muhtemelen) Görelilik teorisi doğrudur.

Görelilik kuramının bu kadar kabul görmesindeki neden bu örnekteki olgular listesinin binlerce farklı gözlemlerle devam ettirilebilecek olmasından, felsefi ve iç tutarlılığından, Newton kütleçekim kuramına indirgenebilmesinden gelmektedir. İlk bakışta şaşırtıcı gelebilecek pek çok olgu, bu kuram sayesinde oldukça sıradan durumalar haline gelmiştir. Genel göreliliğin (Ö5) önermesinde yer alan kütleçekim dalgalarının varlığına dair yaptığı öngörünün deneysel olarak tam 99 yıl sonra doğrulanabilmesi teori ile deneyin arasının ne kadar açılacağına güzel bir örnek teşkil etmektedir [36].

En iyi açıklamaya çıkarım, sıklıkla -realist tutuma sahip düşünürlerce- bilimsel yöntem ilkelerinin bir parçası olarak kabul edilir: Fiziksel olguları açıklayan bir hipotezler kümesi olduğunda, gerçeğe ulaşma erdemi için açıklama gücü en yüksek olan hipotez, yani pek çok olgunun aynı anda en iyi açıklaması, dikkate alınmalıdır. Bu çıkarım, sistemli bir şekilde ilk olarak Peirce tarafından geri-çıkarm (abduction - *D.R.I.*) adı

altında şu şekilde formüle edilmiştir [37]:

- (Ö1) Şaşırtıcı bir Q olayı gözlenmiştir.
- (Ö2) Eğer P doğru olsaydı, Q hiç de şaşırtıcı olmazdı.
- (S) P 'nin doğru olduğundan şüphelenmek haksız olmaz.

Bu geri çıkarım yöntemi, bir önceki en iyi açıklamaya çıkarım tanımını (6.1) göz önünde bulundurarak tümdengelmisel bir formda yazılabilir [38]:

- (Ö1) En iyi açıklamanın doğru olduğundan şüphelenmek haksız olmaz.
- (Ö2) Q
- (Ö3) P hipotezi, Q 'yu açıklayabilir.
- (Ö4) Hiçbir hipotez Q 'yu P 'den daha iyi açıklamamaktadır.
- (S) P 'nin doğru olduğundan şüphelenmek haksız olmaz.

Burada dikkat edilmesi gereken kısım şudur: Sonuç P 'nin doğruluğunu değil, P 'nin doğru olduğundan şüphelenmenin haksız olmadığını belirtmektedir, dolayısıyla en iyi açıklamaya çıkarımdan küçük de olsa farklı bir yapıdadır [39]. Peirce'a göre bu yöntem sonucunda P 'nin daha ileri bir araştırmaya geçecek bir hipotez olduğuna karar verilebilir. P yanlış olsa dahi, doğru olduğunu düşünmek haklı olabilir. Bilimin dogmatik olmayan, yanlılırılık (fallibilism) ile uyumlu yapısı bu duruma tarihsel pek çok örnek sunmaktadır: Özel görelilik kuramı öncesi evrende azami bir hız sınırının yokluğunu düşünmek *haksız değildir*, ya da kuantum mekaniği gelişmeden önce enerjinin her değeri alabileceğini düşünmek benzer bir şekilde *haksız değildir*. Yani insanın düzen keşfetme yeteneğiyle gelişmiş sağduyuları o kadar da haksız değildir.

Önemli bilim felsefecilerinden Lipton'a göre en iyi açıklamaya çıkarım iki aşamada incelenebilir [40]: Birinci aşamada ilgilenilen konuda olası potansiyel açıklamalar kümesi yaratılır. Bu küme yaratımdan (Ö4) öncülü anlam kazanmayacaktır. Bu aşamada rastgele açıklamalar değil, hali hazırda yeterince yerleşmiş teorik bilgilerle (background knowledge) uyumlu olan açıklamalar dikkate alınır. İkinci aşamada gözlemsel verilerin en çok desteklediği, teorik erdemlerle en uyumlu ve konu hakkındaki kavrayışı en çok arttıran (loveliest) hipotez seçilir. Seçilen bu hipotezin, olguları açıklayan gerçek hipotez (likeliest) olma ihtimali ise Lipton'a göre oldukça yüksektir.

En iyi açıklamaya çıkarım, bilimsel realizm tartışmalarında da önemli bir yer tutmaktadır. Bilimsel realistlerin savunmalarında kullandıkları “mucize olamaz” (no miracle argument) gibi argümanlar genelde bu çıkarım yöntemine dayanır [41]. Anti-realist akımın önde gelen temsilcilerinden van Fraassen, en iyi açıklamanın sadece Lipton'ın birinci aşamasında seçilmiş olan, bilim insanlarının ortaya atabildiği hipotezler arasında en iyi olduğunu ve bu seçilmiş hipotezin mümkün tüm hipotezler içerisinde *gerçekten* en iyi olması için “doğanın, insanlığın doğru hipotezler seçebildiğine dair bir eğilime sahip olduğu” imtiyaz ilkesini kabul etmenin zorunlu olduğunu savunur [42]. Bu argümana

benzer olarak hipotezler listesinden seçilmiş en iyi hipotezin, daha ortaya çıkarılamamış fakat aynı derecede başarılı olabilecek diğer hipotezler arasındaki yerinin ne olduğunun bilinemeyeceği iddia edilebilir. Daha ortaya çıkarılamamış hipotez ya da teorilerin varlığı hiç kimse tarafından yadırganmayacaktır. Ancak van Fraassen'ın aşırı empirik yaklaşımı, hipotezlerin sadece gözlenebilirleri açıklayan rastgele ortaya atılmış fikirler olduğu izlenimini yaratmaktadır. Van Fraassen'ın bu tutumu, seçilen hipotezler kümesinin rastgele olmadığını ve yerleşmiş teorik bilgiler ışığında titiz araştırmalar sonucu oluşturulduğunu yok saymaktadır. "Teori seçiminin bilgisiz bir boşlukta yapıldığını savunmak en iyi ihtimalle şüpheli, en kötü ihtimalle absürttür" [41]. En iyi açıklamaya çıkarım ile seçilen teori, sadece en iyi olma özelliğini sağlamamalı, bunun yanında *yeterince* iyi olmalıdır [43]. Örneğin, enflasyon teorisi en iyi açıklamadır fakat pek çok soruna sahip olduğu için henüz yeterince iyi değildir; öteyandan genel görelilik kuramı hem en iyi açıklamadır hem de pek çok teorik erdem ışığında yeterince iyidir.

Yerleşmiş teorik bilgiler, ortaya atılabilecek hipotezlerin özelliklerini ve dolayısıyla sayısını oldukça sınırlar. Temel bir örnek vermek gerekirse, alan teorilerinde çalışan bilim insanları çoğunlukla yazdıkları teorilerin Lorentz grubu altında değişmez (invariant) olmalarını isterler. Bu durum, Einstein'ın özel görelilik kuramına olan güvenden kaynaklanır. Lorentz değişmezliği olmayan teorilerin *sorunlu* görülmesi, bilim insanlarının bu konuya dogmatik yaklaştığını göstermez. Bilim camiasında bu ölçüde güven kazanabilecek kuramlar ancak felsefi tutarlılık, diğer teorilerle uyum ve van Fraassen gibi ampiristlerin de gönül rahatlığıyla katılacağı gözlemsel verilerle uyum sayesinde bu kadar kabul görürler. Lorentz değişmezliği bu kadar güvenilen bir konu olduğu halde, halka kuantum kuramı (loop quantum gravity) [44], çifte özel görelilik (doubly special relativity) [45] ve hatta özel görelilik kuramıyla elenmiş eter kuramının modern versiyonları [46] gibi pek çok teori, Lorentz değişmezliğinin kırıldığı durumları inceler. Daha da önemlisi, bu Lorentz değişmezliğinin olup olmadığı hala onlarca deney tarafından test edilmeye devam edilmektedir [47]. Hipotez sınırlaması konusuna daha özellemiş bir örnek olarak Coleman-Mandula teoremi verilebilir. Bu teorem, belli koşulları sağlayan kuantum alan kuramlarının Lie grup simetrilerinin Poincaré grubuyla bir iç simetri grubunun direkt çarpımı olmak zorunda olduğunu söyler [48]. Bu teoremin koşullarını kabul eden bir teori yazıldığında uzayzamansal ve iç simetrisi *uygun* bir şekilde birleştirmek mümkün değildir; yani kuantum kütleçekim kuramına bu yolla ulaşmak imkansızdır. Dolayısıyla, oluşturulacak teoriler, ya bu koşulları sağlayacak ve simetrisi uygun bir şekilde birleştirilemeyecektir; ya da kabul edilen koşullar esnetilecek ve birleşme sağlanabilecektir. Süpersimetrik teorilerin yaptığı tam olarak budur [49]; bu simetrisi birleştirmek için teoremin koşullarına ters bir şekilde doğada yeni bir simetri türü olan, fermiyonlarla bozonlar arasında bir ilişki veren süpersimetrisinin varlığı kabul edilmelidir. Ancak bu kabul altında daha bütünlüklü bir simetri birleşimi mümkündür. Bir diğer örnek olarak kuantum mekaniğinden Bell teoremi verilebilir. Bu teorem, belli varsayımları sağlayan gizli-değişken teorilerinin yerel olması durumunda kuantum dolaşıklık (entanglement) halinde bulunan parçacıkların bağılıklık (correla-

tion) değerlerinin belli bir sayının altında olmak zorunda olduğunu belirtir [50]. Deneysel olarak ölçülen bağlaşıklık değerleri verilen sınırın çok çok üstünde çıkabildiği için, teoremin varsayımlarını sağlayan yerel gizli-değişken teorileri tutarsız olmak durumundadır [51]. Bu sebeple, gizli-değişken teorileri üzerinde çalışmak isteyen bilim insanları ya yerel olmayan teorileri dikkate alacaktır ya da teoremin özgür irade sorununa kadar ucu dokunabilecek istatistiksel bağımsızlık gibi varsayımlarını kabul etmeyecektir [52].

Bu örneklerde görülebileceği gibi fiziksel hipotez ya da teoriler, belirli matematiksel teoremler tarafından sınırlandırılır ve bu şekildeki bazı durumların fiziksel olarak imkansız olduğu teoremlere ilerleme-yasak (no-go) teoremleri denir. İlerleme-yasak teoremleri, daha formel bir şekilde bir dörtlü olarak tanımlanabilir [53]: $(F, M, T \not\vdash H)$. Burada H , ulaşılmak istenen hedefi simgeler. Örneğin, Coleman-Mandula teoremi için “uzayzamansal ve iç simetrileri birleştirmek”; Bell teoremi için “gizli-değişken teorisine ulaşmak” amaç olarak görülebilir. İlerleme-yasak teoreminin içinde bulunduğu fiziksel ya da matematiksel teori T ile gösterilir ve bu teori içinde F fiziksel kabulleri altında ilgilenilen fiziksel nesnenin matematiksel modeli M ile simgelenir. Teoremin sonucu F, M, T üçlüsünün H hedefi ile çelişkili olmasıdır ve bu çelişki $\not\vdash$ ile sembolize edilmiştir. Bu çelişkili durumdan şu çıkarım yapılabilir:

$$(F, M, T \not\vdash H) \quad \implies \quad \neg F \vee \neg M \vee \neg T \vee \neg H.$$

Burada Duhem-Quine tezine (5.4) benzer bir şekilde F, M, T, H dörtlüsünden hangisi veya hangilerinin yanlış olduğu teoremden çıkarılamamaktadır. En kolay seçim gibi görünen $\neg H$, bu hedeften ampirik, metafiziksel, meta-tümevarımsal ya da faydacı sebeplerle vazgeçilmemesi durumunda istenmeyen bir seçim olabilir [53]. Örneğin, uzayzamansal ve iç simetrileri birleştirmek, bilimdeki birleştirici anlayışın bilim tarihinde pek çok kez başarılı olması sebebiyle meta-tümevarımsal bir bağlamla teorik bir erdem olarak görülmektedir [54]. Bell teoremi için de gizli-değişken teorileri, kuantum mekaniğini “tuhafliklarından” arındığı metafiziksel bir altyapıya kavuşturma amacıyla dikkate alınmaktadır. Bu gibi sebeplerle H hedefinden vazgeçilmemesi durumunda, F, M, T üçlüsünden en az birinden vazgeçilmelidir. Bu seçeneklerden $\neg T$, T teorisi kuantum mekaniği ya da görelilik kuramı gibi yerleşmiş bir teori ise çok mümkün görünmemektedir. Bu yüzden sabit bir hedef altında ilerleme-yasak teoremleri, isimlerine zıt bir şekilde teorik çalışmaların ilerleyeceği yönü belirler; çünkü ortaya şu doğal sorunun çıkmasına sebep olur: H hedefi için T teorisi kapsamında, F fiziksel kabullerinden hangileri değiştirilerek yeni bir M' modeli elde edilmelidir? Daha önce bahsedildiği gibi, Coleman-Mandula teoremi için “sadece bozonsal üreteçler vardır” varsayımı değiştirilerek “hem bozonsal hem fermiyonsal üreteçler vardır” varsayımı kabul edilirse simetrilerin matematiksel modellemesi Lie gruplarından süper-Lie gruplarına değiştirilir. Bu değişimler altında “uzayzamansal ve iç simetrileri birleştirme” amacına ulaşmak hala mümkündür. Bell teoreminde de istatistiksel bağımsızlık varsayımı kabul edilmezse, bağlaşıklık değerleriyle ilgili eşitsizlik geçerli değildir. Bu sebeple süper-determinizmi kabul eden yerel gizli-değişken teorileri deneysel olarak yanlışlanmamıştır.

Görüldüğü gibi matematiğin temel aksiyomlarından ve fiziksel kabullerden tümdengimsel bir şekilde izleyen ilerleme-yasak teoremleri sebebiyle bu aksiyom ve kabul-leri değiştirmeden rastgele bir teori yazmak mümkün değildir. Van Frasseen'in iddia ettiği gibi en iyi açıklamaya çıkarımın birinci aşamasındaki teoriler kümesi, doğanın insanlığa imtiyaz sağladığı rastgele bir gerçeklikte değil, pek çok farklı etken tarafından sınırlandırıldığı ve buna dayalı yapılan titiz çalışmalar sonucu ortaya çıkar. Buna benzer bir argüman, bilimin ya da fiziğin bütünselliğinden de verilebilir: Kabul görmüş teoriler oldukça narin ağlarla birbiriyle ilişki içerisindedir. Örneğin, uzay ve zaman ile ilgili yazılacak bir teori, bu yapı üzerine kurulacak parçacık teorisini direkt olarak etkilemektedir. Ters yönde de daha özel bir örnek verecek olursak, teoride elektron kavramının yer alması isteniyorsa, uzay ve zaman kavramlarını rastgele seçmek mümkün değildir; elektron kavramı ancak belli özellikleri sağlayan durumlarda anlamlı bir şekilde tanımlanabilmektedir. Bu durumlar, uzayzaman üzerinde topolojik kısıtlamalara karşılık gelmektedir: seçilen uzayzaman düzgün çok katlısının birinci ve ikinci Stiefel-Whitney sınıflarının sıfır olmasının gerekliliği gibi.

7 Matematiksel Fizikte Yöntem

Antik Yunanca'da doğaya ait bilgi anlamına gelen fizik, yıldızlardan atomlara, uzayzaman- dandan periyodik tabloya kadar pek çok fiziksel olgu ve sürece dair *bilgiler* bütünüdür. Gökkuşağı nasıl oluşur, azot lazerinin ışın frekansı nedir gibi özelleşmiş konulara da cevap arayan fiziğin en temel amaçlarından biri şu sorulara cevap vermektir:

1. İçinde yaşadığımız evren nedir?
2. Bu evrenin içinde neler var?
3. Bu şeyler nasıl hareket ediyor ve birbirleriyle nasıl etkileşiyor?

Temel fizik teorileri olarak adlandırılan görelilik ve kuantum kuramları, bu ana soru- lara yanıt vermeye çalışırken, bir yandan da diğer teorilerin türetilbileceği bir zemin oluştururlar. Daha temel teorilere dayandırılarak inşa edilen teorilere efektif teori adı verilir. En temeldeki iki teorinin bir araya getirildikleri durumlarda tutarsız sonuçlar vermeleri sebebiyle aslında görelilik ve kuantum kuramlarının da efektif teoriler ol- ması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu tutarsızlık, pek çok fizikçinin hayalleri arasında yer alan, bu iki teoriyi uyumlu bir şekilde aynı bünyede toplayan “her şeyin teorisi” arayışına işaret etmektedir.

Her şeyin teorisi gibi iddialı ya da daha özelleşmiş sorulara yanıt arayan fizik bilimi, yöntem bakımından üç ana alt dala ayrılabilir:

1. Teorik fizik
2. Deneysel fizik
3. Hesaplamalı fizik

Bu üç dal da bilgi ve verileri sistematik ve bütünlüklü bir şekilde toplamak için matematiği kullanır. Teorik fiziğin altında incelenebilecek olan matematiksel fizik ise fiziksel sistem veya durumların matematiksel yapılar ile soyutlanarak modellenmesi ile ilgilidir. Çoğunlukla daha ileri düzey matematiksel teorilerin kullandığı matematiksel fizik, gerçek dünyada gözlenen olguların matematiksel nesnelere nasıl eşleştirilebileceğine dair çalışmalar yapar. Bu eşleştirme işlemi sırasında fiziksel bir sistemin bazı özellikleri göz ardı edilir [55]. Örneğin, özel görelilik teorisinde modelleme yapılırken kütleçekimsel etkiler yok sayılır; klasik bir alan kuramıyla ilgilenirken kuantum etkiler ihmal edilir. Matematiksel modellemenin en önemli noktası, fiziksel dünyadan gelen sentetik önermelerin matematiksel analitik yargularla değiştirilmesidir. Bu geçiş yapıldıktan sonra, sonuçların zorunlu olarak öncüllerden izlediği tümdengelim çıkarım yöntemi, matematiksel fizikçinin en önemli aletlerinden biri haline gelir. Örneğin, Einstein'ın genel görelilik teorisinde uzay ve zaman bir araya getirilerek 4 boyutlu Lorentzsel bir düzgün çok katlı (Lorentzian smooth manifold) ile modellenir. Bu modellemeyi takip eden sonra, çok katlılar ile ilgili matematiksel teoremler fiziksel teorimizde geçerli olmak durumundadır. Çünkü bu teoremler, matematiğin temel aksiyomlarından tümdengelimsel bir şekilde çıkarılır. Eğer teoremler fiziksel dünya ile uyum sağlamayan sonuçlar veriyorsa, bu durum ancak modellemenin değiştirilmesi ile çözülebilir. Genel görelilikteki matematiksel modellemeye göre ışık, ışık geodezikler (light-like geodesic) üzerinde hareket etmelidir ve bir teorem olarak bu ışık geodezikler kütleli cisimler tarafından eğrilebileceği için doğrusal olmak zorunda değildir; yani ışık kütleli cisimlerin yakınından geçerken eğrilebilir. Genel göreliliğin öngörüsü olarak ışığın eğrilmesi, Eddington tarafından 1919 yılında bir Güneş tutulması sırasında gözlenmiştir [56]. Bir diğer örnek için Dirac'ın anti-madde ile ilgili öngörüsü düşünülebilir. Kuantum mekaniğinin en temel formülü olan Schrödinger denklemini Einstein'ın özel görelilik kuramı ile uyumlu bir şekilde birleştirmeye çalışan Dirac, bunu ancak Clifford cebirleri ve Poincaré grubunun spinör temsilleri gibi matematiksel yapılar kullanarak yapabilmiştir [57]. Fakat bu yapıları kullanarak elde edilen ve elektron gibi spin-1/2 parçacıkların davranışlarını açıklayan Dirac denklemi, anti-elektron ya da pozitron denilen yeni bir parçacık olması gerektiğini söyler. Bu parçacık tamamen matematiksel bir çıkarım sonrasında elde edildiği için ya doğada gözlenecektir ve Dirac denklemi için bir kanıt sağlayacaktır, ya da doğada gözlenmeyecek ve Dirac'ın yaptığı matematiksel modellemenin tutarsız olduğu ortaya çıkacaktır. Nitekim, 1932 yılında Carl Anderson tarafından pozitron doğada gözlenmiştir ve matematiksel fiziğin öngörü gücüne çok önemli bir örnek teşkil etmiştir [58].

Sadece 2 örnekten bahsederken bahsi geçen 8 isimden (ve bahsedilmeyen pek çok farklı isimden) anlaşılabilirliği gibi bilimsel yöntemin adımları sıklıkla farklı bilim insanları tarafından gerçekleştirilmektedir. En eski ve gelişmiş bilim dallarından olan fizikte, hem teori ile ilgilenmenin hem de bu teorisin sonuçlarını deneysel olarak doğrulamanın aynı kişiler tarafından yapılması çok düşük bir ihtimaldir. Bu yüzden çoğunlukla her küçük adım başka kişi ve hatta ekipler tarafından yapılmaktadır. Hipotetik-tümdenge-

limsel yöntemin baz alınacağı bu adımlar, şu şekilde sıralanabilir:

1. Olgusal dünyadan matematiksel modellemelere geçiş,
2. Bu modellerle ilgili matematiksel teorileri geliştirme,
3. Matematiksel modellerin iç tutarlılığını sorgulama,
4. Bu modellerdeki olası tutarsızlıkları gidermek için modelleri modifiye etme,
5. Modellemelerden olgusal dünya hakkında öngörülerde bulunma,
6. Bu öngörülerini test edebilecek deneysel düzenekler önerme,
7. Bu deneysel düzenekleri kurma,
8. Deneylemlerden gelen bilgileri işleme,
9. Bu işlenmiş bilgileri tekrar teori ile karşılaştırma,
10. Gerekirse modeli terk etme ya da modifiye etme.

Bu adımlar, fiziğin en kapsamlı teorisi denebilecek, pek çok alt teorinin ve deneysel verinin sistematik bir şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş standart model ile örneklenir. Standard model, doğadaki parçacıklar ve bu parçacıklar arasındaki kütleçekim haricindeki gözlenmiş üç temel etkileşimin açıklandığı bir teoridir. Bu parçacıklar, kuantum alanı deneni matematiksel nesnelere şeklinde modellenir ve bu nesnelere için lif demeti (fiber bundle), bağlantı (connection), Lie grubu, temsil gibi pek çok matematiksel yapıya ihtiyaç duyulur. Matematiksel yapılardan hangilerinin fiziksel teoriye uygun düşeceği belirlenmeli ve bu uygun düşenlerin ayrıntılarının çalışılması gerekmektedir. Örneğin, fiziksel teoriler için önceki örnekteki yapıların en genel halleri değil; spin demetleri, Levi-Civita bağlantısı, $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$ Lie grubu, Poincaré grubunun üniter indirgenemez temsilleri gibi özel durumları gereklidir. Tüm bu yapılar inşa edildikten sonra tüm matematiksel sistemin tutarlı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Örneğin, pertürbatif bir kuantum alan kuramı olan standart modelin fiziksel tutarlılığa sahip olması için modeldeki sonsuz çıkan durumların dengelenmesini sağlayan renormalizasyonu yapılabilirdir ve bu durum 't Hooft tarafından gösterilmiştir [59]. Standart modelin gelişme aşamalarında, etkileşimlerden sorumlu bozon adı verilen parçacıkların hepsinin kütleli olması gerektiği Goldstone'nun öne sürdüğü bir ilerleme-yok teoremi ile matematiksel olarak gösterilmiştir [60]. Buna karşın, zayıf etkileşimi sağlayan W^\pm ve Z bozonlarının kütleli olması gerektiğine dair teorik çalışmalar [61] olduğu gibi kütleli oldukları deneysel olarak da gözlenmiştir [62], [63]. Bu tutarsızlığı çözmek için gereken "mekanizmaya" Higgs alanı denir [64]. Modele bu alan eklendiğinde kütleli bozonlar elde etmek mümkündür; ayrıca Goldstone teoreminin sonuçlarından kurtulmanın tek yolu bu mekanizmadır [65]. Modeldeki bu değişiklik sonrası zorunlu olarak şu öngöründe bulunmak gerekmektedir: Higgs alanına karşılık gelen Higgs parçacığı gözlenmelidir. Nitekim, teorik öngörüsünden tam 48 yıl sonra Higgs parçacığı gözlenmiştir

[66]. İnsanlık tarihinin en büyük çaplı deney sistemlerini içeren CERN’de bu keşfin yapılması için binlerce kişilik ekipler görev almıştır. Higgs parçacığının keşfinden önce pek çok başarısız arayış gerçekleştirilmiştir. Örneğin, CERN’deki Büyük Elektron-Proton Çarpıştırıcısı bu parçacığı yıllarca aramış olsa da, ulaşabildiği en yüksek enerjiler Higgs parçacığını gözlemleyebilmek için yeterli olmamıştır. Bu derece yüksek enerjilere çıkarak Higgs parçacığını keşfetmek, ancak Büyük Elektron-Proton Çarpıştırıcısı’nın yıkıldıktan sonra yerine inşaa edilen Büyük Hadron Çarpıştırıcısı sayesinde mümkün olmuştur. Bu deneyler için süperiletken mıknatıslar, 0 Kelvin’e yakın sıcaklıklarda çalışılması için süperakışkan sıvılar, bir bina büyüklüğündeki aygılayıcılar gibi teknolojinin sınırındaki unsurlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yine bu deneylerden çıkan çok büyük miktardaki verinin yüksek teknoloji sistemler tarafından aktarımı ve depolanması gerekmektedir. Bu çıkan veriler ise bilgisayar programlarıyla işlenmeli ve modeller oluşturan fizikçiler tarafından teorilerinin doğrulanması ya da modifiye edilmesi için kullanılmalıdır. Örneğin, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda parçacıkların süpersimetrik eşleri gözlenememiştir, bu durum süpersimetri üzerinde çalışan teorik fizikçilerin modellerini yanlışlamasa da, parçacıkların süpersimetrik eşlerinin çok daha yüksek kütleyle sahip bir şekilde modellenmesini zorunlu kılmıştır [67].

Teori bağlamında kalan ilk adımlarda, soyutlamanın yanında iki önemli yöntem daha kullanılır: idealleştirme ve genelleme. Fiziksel dünyadaki olgulardan soyutlama yoluyla matematiksel modellere geçilirken farklı amaçlarla idealleştirme yoluna gidilir. Bu idealleştirmelerde tam olarak doğru olmayan, hatta çoğu zaman doğru olması fiziksel olarak imkansız olan durumlar varsayılır [68]. Örneğin, çoğu zaman sürtünme kuvveti yok sayılır, gök cisimleri yoğunluğu sabit olan mükemmel küreler olarak modellenir. Bu örneklerdeki gibi idealleştirmeler durumu gerçekçi olmayan bir şekilde basitleştirse de konunun özüne inmek açısından önemlidir. Konunun temellerine inildikten sonra bu varsayımlar mümkün olduğunca kaldırılmaya başlanır; sürtünme kuvveti sisteme iki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı cinsinden eklenir ya da gök cisimlerinin yoğunluğu yarıçap yönünde düzgün bir şekilde azalıyor varsayılır. Bu idealleştirmelerin azaltılması konusunda daha ayrıntılı bir örnek için ideal gaz denklemi düşünülebilir [69]:

$$PV = nRT. \quad (7.1)$$

Bu denklemde basınç (P), hacim (V), mol sayısı (n), gaz sabiti (R) ve sıcaklık (T) arasındaki ilişki şu idealleştirmeler altında verilir: Gazı oluşturan moleküllerin fiziksel boyutları sıfır kabul edilir ve bu moleküllerin birbirleriyle etkileşmedikleri varsayılır. İdeal gaz formülü doğruluğu mümkün olmayan bu varsayımlara dayanmasına rağmen pek çok amaç için deneylerle yeterince uyumlu sonuçlar verir. İdealleştirmelerin azaltılması adına moleküllerin fiziksel boyutlarıyla ilgili varsayım kaldırıldığında şu denklem elde edilir:

$$P(V - nb) = nRT; \quad (7.2)$$

burada b bir mol molekülün fiziksel boyutudur. Moleküller arası etkileşim olmadığı var-

sayımı, gazın cinsine bağılı sabit bir a katsayısıyla verilen bir etkileşim olduğu varsayımı ile değiştirilirse van der Waals formülüne ulaşılır:

$$\left(P + a \frac{n^2}{V^2}\right) (V - nb) = nRT. \quad (7.3)$$

Daha gerçekçi bir gaz modeline geçmeden önce matematikteki Taylor (ya da Maclaurin) açılımını hatırlamak yararlı olacaktır. Belli şartları sağlayan sonsuz türevlenebilir bir $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu n . dereceden türevleri cinsinden şu şekilde yazılabilir:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n. \quad (7.4)$$

Bu açılım sayesinde f fonksiyonunun yaklaşık versiyonları elde edilebilir. Değişken x çok küçük değerler aldığı zaman $x \gg x^2 \gg \dots \gg x^n \gg \dots$ olacağından

$$f(x) \approx f(0) + f'(0)x \quad (7.5)$$

yaklaşık olarak elde edilebilir. Daha hassas bir yaklaşıklık için açılım daha ileri bir adımda kesilebilir ve gittikçe azalan hata payları elde edilebilir. Fiziksel bir kavramı bir fonksiyon ile modellediğimizde, deneysel verilerimizin sayısal değerleri virgülden sonra ancak belli bir basamağa kadar ölçülebildiği için bu açılımlar sıklıkla kullanılır ve deneyle uyumlu sonuçlar verir. Modellemelerdeki idealleştirmelerin pek çoğu, Taylor açılımına benzer ifadelerin belli adımlarına karşılık geldikleri için gerçekliğe yakın bir modelleme imkanı sunmakta ve yararlı olmaktadır. Bu durum ideal gaz ve van der Waals denklemleri için de geçerlidir. Gerçekçi bir gaz modeli için pertürbatif bir açılım olan virial hal açılımı kullanılır [70]. Bu açılımda önceki varsayımlar kabul edilmemiştir ve kuantum istatistiksel mekaniğin temel yasalarına dayanan bir şekilde basınç için bir açılım elde edilir. Virial açılımı, birinci mertebede kesildiğinde ideal gaz denklemini; ikinci mertebede kesildiğinde ise van der Waals denklemini verir.

Yukarıdaki örnekte idealleştirmeler daha sonra kaldırılma amacıyla varsayılmış olsa da, matematiksel fizik araştırmalarında her zaman bu tutum görülmez. Yapılan idealleştirmelerden bazıları hiç bir zaman kaldırılmayacağı gibi, matematiksel modelin gerçek olgusal dünyaya karşılık gelmesi hiç bir zaman beklenmeyebilir. Örneğin, uzay-zaman boyutu 4 kabul edilse de, bir bilim insanı herhangi bir boyutta Dirac denklemini inceleyebilir [71] ya da tüm boyulardaki topolojik yalıtkanların sınıflandırmasını yapabilir [72]. Temel fizik açısından daha önemli bir oyuncak model örneği için 3 boyutlu kuantum kütleçekim kuramı dikkate alınabilir [73]. Fiziğin belki de en büyük problemlerinden biri olan kuantum fiziği ile kütleçekim teorisini birleştirme çabası 4 boyutta henüz başarısız olmuş olsa da 3 boyutta tutarlı bir teori yazmak mümkündür. Bu teori hiç bir zaman gerçekliğe karşılık gelmeyecek olsa da hakkında oldukça kapsamlı bir literatür bulunmaktadır. Bu literatürün altında yatan amaç, bu modelden çıkarılabilecek bilgilerin gerçek teori hakkında bazı anlayışlara yol açabilecek olmasıdır.

Bu tarz anlayışlar kazandırabilecek modeller yaratmanın en temel yollarından biri

genellemelere başvurmaktır. Burada genelleme, tekil gözlemlerden daha çoğulcu ya da evrensel yargılara varmak anlamında kullanılmamaktadır. Matematiksel bir yapının genellemesinden kasıt, bu yapıyı içeren fakat daha az varsayımda bulunularak inşaa edilmiş daha büyük yapılar bulmaktır. Örneğin, doğal sayılar kümesi üzerinde bir toplama işlemi tanımlanmıştır. Tam sayılar, doğal sayıları içeren daha büyük bir küme olarak tanımlandığında bu yeni kümede tanımlanacak toplama işlemi doğal sayılar kümesi üzerindeki toplama işleminin temel özelliklerini sağlamalı ve bu yeni işlem sadece doğal sayılara uygulandığında eski toplama işlemi ile aynı sonuçları vermelidir. Sayıların $\mathbb{N} \subset \mathbb{Z} \subset \mathbb{Q} \subset \mathbb{R} \subset \mathbb{C}$ şeklinde daha büyük kümelerle doğru sıralınışta altında işlemler hep bir önceki kümedeki işlemi kopyalayacak, yani genelleyecek şekilde inşaa edilir. Matematikteki bu genelleme, fiziksel sistemin modellendiği matematiksel yapıda mümkün olduğu zaman matematiksel fizikçiler için yeni bir araştırma kapısı doğar. Örneğin, genel görelilik kuramı, (yarı-)Riemann geometrisi kapsamında modellenmektedir. Bu geometri ise daha kapsamlı bir matematiksel çerçevenin, metrik-afin geometrinin, özel bir durumu olarak karşımıza çıkar. Metrik-afin geometriler 3 önemli matematiksel nesnenin sıfır olup olmamasına göre sınıflandırılabilir: eğrilik (curvature), burulma (torsion) ve metriksel-olmama (non-metricity) tensörleri [74]. Riemann geometrileri eğriliğin herhangi bir değer alabildiği, fakat diğer iki tensörün sıfır olduğu özel duruma karşılık gelmektedir. Bu durumda matematiksel fizikçilerin karşısına doğal bir soru çıkar: İçinde yaşadığımız uzayzaman yapısı burulma ya da metriksel-olmama tensörlerinin sıfır olmadığı bir durumda olabilir mi? Bu sorunun cevabı ancak deney yoluyla elde edilebilir ve *şimdilik* bu tensörlere dair ölçümler sıfır olduklarını göstermektedir. İlerleyen teknolojiyle beraber gelecekte yapılacak bir deney burulma tensörünün sıfır değil ancak sıfıra çok yakın olduğunu ortaya çıkarırsa, bu teori şimdiden hazırdır: Riemann-Cartan geometrisine karşılık gelen Einstein-Cartan kütleçekim kuramı [75]. Riemann geometrisi aynı zamanda Newton fiziğinin matematiksel temelini oluşturan, eğrilik tensörünün de sıfır olduğu, Öklid geometrisini de genelleyen bir yapıdır. Bu sayede matematiksel ve fiziksel teori ikilileri arasında şu şekilde bir sıralama yapılabilir: (Newton, Öklid) \subset (Einstein, Riemann) \subset (Einstein-Cartan, Riemann-Cartan) \subset (Einstein-Cartan-Weyl, Metrik-afin). Bu sıralama, ortaya doğal iki soru çıkarır: Metrik-afin geometriden daha genel bir geometri var mıdır ve bu geometri nasıl bir fiziksel teoriye karşılık gelir? Bu sorulardan matematiksel olan ilkinin cevabı olumludur; geometrilerin sıralaması şu şekilde devam ettirilebilir: metrik-afin geometri \subset Lie algebroidleri üzerinde geometri [76] \subset genelleştirilmiş geometri (generalized geometry) [77] \subset pre-Leibniz algebroidleri üzerine metrik-bağlantı geometrisi [78]. Bu geometrilerin karşılık geldiği fiziksel teoriler ise kuantum kütleçekim teorilerinin en güçlü adaylarından sicim ve M teorileridir. Genellemelerin matematiksel fizikte kullanımına bir diğer örnek de kuantum alan kuramından verilebilir. Bu kurama göre parçacıklar Poincaré grubunun üniter indirgenemez temsilleri olarak modellenir [79] ve bu temsiller takyon adı verilen, ışık hızından daha hızlı hareket etmek zorunda olan parçacıkları barındırır [80]. Deneysel olarak gözlenmedikleri ve nedensellik ile ilgili so-

runlar çıkardıkları için takyonlar kabul edilmese de takyon modelleri parçacık teorisinin bir genellemesi altında mümkündür.

8 Yazı Dizisinin Geleceği Hakkında

Matematikselsel fizikte bilimsel yöntemin incelendiği bu makale, giriş bölümünde de belirtildiği gibi, matematikselsel fiziğin felsefesine doğru ilerleyecek olan bir yazı dizisinin ilk parçasını oluşturmaktadır. Bu yazı dizisinin ilk bölümünde bu makalede hakkında kısaca bahsedilen, bilim felsefesine dair pek çok konu daha detaylı bir şekilde işlenecektir. Örneğin, bir sonraki makalede bilimsel yöntemin önemli unsurlarından biri olan teorik erdemler konu edilecektir ve bilimin sınırı problemi tartışılacaktır. Daha sonraki makaleler, hipotetik-tümdengelselsel yöntemde bu yazıda sınırlı bir miktarda bahsedilmiş bilimsel doğrulama, bilimsel açıklama ve bilimin bütünselliği gibi konular üzerine olacaktır. Genel bilim felsefesine ait bu temel konular tartışılacak ve örneklemeler mümkün olduğu müddetçe matematikselsel fizikten verilecektir. Bilimsel realizmin tanımı, türleri ve savunusu gibi konularda da ayrıntılı birkaç makale sonrasında asıl hedef olan matematikselsel fiziğin temel teorilerine odaklanılacaktır. Klasik mekanik, görelilik, kuantum mekaniği, klasik ve kuantum alan kuramları, sicim kuramı gibi konular tutarlı matematikselsel çerçevesi verildikten sonra bu teorilerin felsefi sonuçları tartışılacaktır. Bu amaç için matematiğin derinliklerine inilmesi zorunlu olduğu için, ilgili matematikselsel yapılar tanımlanıp, bu yapıların gerekli özellikleri anlatılacaktır. Bu sebeple, aksiyomatik sistemlerden bahsedilmesi gerekecek ve matematiğin felsefesine de zaman zaman değinilecektir.

Kaynaklar

- [1] T. L. Heath, *The Thirteen Books of Euclid's Elements*, Cambridge University Press, 1908.
- [2] D. Hume, *A Treatise Of Human Nature*, Oxford University Press, 1739.
- [3] W. C. Salmon, "The Uniformity of Nature", *Philosophy and Phenomenological Research*, 1953.
- [4] N. Goodman, *Fact, Fiction, and Forecast*, Harvard University Press, 1955.
- [5] M. Kelley, "Predicates and Projectibility", *Canadian Journal of Philosophy*, 1971.
- [6] R. Nola, H. Sankey, "A Selective Survey of Theories of Scientific Method", *After Popper, Kuhn and Feyerabend*, Springer Science & Business Media, 2001.
- [7] R. Nola, H. Sankey, *Theories of Scientific Method*, Acumen Publishing, 2007.
- [8] K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, 1959.
- [9] P. Langley, G. L. Bradshaw & H. A. Simon, "Bacon.5: Discovery of Conservation Laws", *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1981.
- [10] L. Laudan, "Theories of Scientific Method from Plato to Mach" *SAGE History of Science*, 1968.
- [11] J. Ladyman, *Understanding Philosophy of Science*, Routledge, 2002.
- [12] F. Bacon, *Novum Organum*, 1620.
- [13] T. M. Mitchell, *Machine Learning*, McGraw-Hill, 1997.
- [14] P. Zagorin, "Francis Bacon's Concept of Objectivity and the Idols of the Mind", *The British Journal for the History of Science*, 2001.
- [15] G. Frege, "Über Sinn und Bedeutung", *Zeitschrift für Philosophie und Philosophische Kritik*, 1892, (Çeviri: M. Black, "Sense and Reference", *The Philosophical Review*, 1948).
- [16] J. Ladyman, D. Ross, *Every Thing Must Go*, Oxford University Press, 2007.
- [17] M. Weber, *The Methodology of the Social Sciences*, The Free Press, 1949.
- [18] J. Reiss, J. Sprenger, "Scientific Objectivity", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2020.
- [19] D. Glavan, C. Lin, "Einstein-Gauss-Bonnet Gravity in Four-Dimensional Space-time", *Physical Review Letters*, 2020.
- [20] M. Gürses, T. Ç. Şişman & B. Tekin, "Is There a Novel Einstein-Gauss-Bonnet Theory in Four Dimensions", *European Journal of Physics C*, 2020.
- [21] T. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, 1962.
- [22] L. B. Okun, "The Concept of Mass", *Physics Today*, 1989.

- [23] G. Oas, “On the Abuse and Use of Relativistic Mass”, arXiv:physics/0504110 [physics.ed-ph], 2005.
- [24] S. Sivasundaram, K. H. Nielsen, “Surveying the Attitudes of Physicists Concerning Foundational Issues of Quantum Mechanics”, arXiv:1612.00676 [physics.hist-ph], 2016.
- [25] E. Joos, “Elements of Environmental Coherence”, *Decoherence: Theoretical, Experimental and Conceptual Problems*, Springer, 2000.
- [26] M. Gasperini, G. Veneziano, “Pre-Big-Bang in String Cosmology”, *Astroparticle Physics*, 1992.
- [27] C. Hempel, *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, The Free Press, 1965.
- [28] A. A. Penzias, R. W. Wilson, “A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s”, *Astrophysical Journal*, 1965.
- [29] R. A. Alpher, R. C. Herman, “Remarks on the Evolution of the Expanding Universe”, *Physical Review*, 1949.
- [30] C. Martini, “Hypothetico-Deductive Method”, *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Social Theory*, 2017.
- [31] W. V. Quine, “Two Dogmas of Empiricism”, *The Philosophical Review*, 1951.
- [32] J. Earman, W. C. Salmon, “The Confirmation of Scientific Hypothesis”, *Introduction to the Philosophy of Science*, Prentice-Hall, 1992.
- [33] A. Tolish, “General Relativity and the Newtonian Limit”, Ders Notu, VIGRE Program, University of Chicago, 2010.
- [34] V. C. Rubin, W. K. Ford & N. Thonnard, “Rotational Properties of 21 Sc Galaxies with a Large Range of Luminosities and Radii, from NGC 4605 ($R = 4$ kpc) to UGC 2885 ($R = 122$ kpc)”, *The Astrophysical Journal*, 1980.
- [35] A. H. Guth, “Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems”, *Physical Review D*, 1981.
- [36] B. P. Abbott vd. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), “Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger”, *Physical Review Letters*, 2016.
- [37] C. S. Peirce, “General and Historical Survey of Logic”, *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Harvard University Press, 1932.
- [38] A. Musgrave, “The Ultimate Argument for Scientific Realism”, *Relativism and Realism in Science*, Springer, 1988.
- [39] D. G. Campos, “On the Distinction Between Peirce’s Abduction and Lipton’s Inference to the Best Explanation”, *Synthese*, 2009.
- [40] P. Lipton, “Inference to the Best Explanation”, *A Companion to the Philosophy of Science*, 2000.

- [41] S. Psillos, “On Van Fraassen’s Critique of Abductive Reasoning”, *The Philosophical Quarterly*, 1996.
- [42] B. C. V. Fraassen, *Laws and Symmetry*, Oxford University Press, 1989.
- [43] P. Lipton, “Is the Best Good Enough?” *Proceedings of the Aristotelian Society*, 1993.
- [44] C. Rovelli, “Loop Quantum Gravity”, *Living Reviews in Relativity*, 1997.
- [45] C. Amelino-Camelia, “Relativity in Space-times with Short-distance Structure Governed by an Observer-independent (Planckian) Length Scale”, *International Journal of Modern Physics*, 1998.
- [46] T. Jacobson, D. Mattingly, “Gravity with a Dynamical Preferred Frame”, *Physical Review D*, 2001.
- [47] D. Mattingly, “Modern Tests of Lorentz Invariance”, *Living Reviews in Relativity*, 2005.
- [48] S. Coleman, J. Mandula, “All Possible Symmetries of the S Matrix”, *Physical Review*, 1967.
- [49] Y. A. Gol’fand, E. P. Likhman, “Extension of the Algebra of Poincare Group Generators and Violation of P-invariance”, *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 1971.
- [50] J. S. Bell, “On the Einstein Podolsky Rosen Paradox”, *Physics*, 1964.
- [51] J. F. Clauser, A. Shimony, “Bell’s Theorem: Experimental Tests and Implications”, *Reports on Progress in Physics*, 1978.
- [52] G. ’t Hooft, “The Cellular Automaton Interpretation of Quantum Mechanics”, Springer, 2016.
- [53] R. Dardashti, “No Go Theorems: What are They Good For?”, (yayınlanacağı dergi:) *Studies in History and Philosophy of Science*, arXiv:2103.03491 [physics.hist-ph], 2021.
- [54] T. Maudlin, “On the Unification of Physics”, *Journal of Philosophy*, 1996.
- [55] S. Psillos, “Living with the Abstract: Realism and Models”, *Synthese*, 2011.
- [56] F. W. Dyson, A. S. Eddington & C. Davidson, “A Determination of the Deflection of Light by the Sun’s Gravitational Field”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1920.
- [57] P. A. M. Dirac, “The Quantum Theory of the Electron”, *Proceedings of the Royal Society A*, 1928.
- [58] C. D. Anderson, “The Positive Electron”, *Physical Review*, 1933.
- [59] G. ’t Hooft, “Renormalizable Lagrangians for Massive Yang-Mills Fields”, *Nuclear Physics B*, 1971.
- [60] J. Goldstone, A. Salam & S. Weinberg, “Broken Symmetries”, *Physical Review*, 1962.

- [61] A. Sirlin, “Radiative Corrections in the $SU(2)_L \times U(1)$ Theory: A Simple Renormalization Framework”, *Physical Review*, 1980.
- [62] G. Arnison vd. (UA1 Collaboration), “Experimental Observation of Lepton Pairs of Invariant Mass Around $95\text{GeV}/c^2$ at the CERN SPS Collider”, *Physics Letters*, 1983.
- [63] G. Arnison vd. (UA1 Collaboration), “Experimental Observation of Isolated Large Transverse Energy Electrons with Associated Missing Energy at $\sqrt{s} = 540\text{GeV}$ ”, *Physics Letters*, 1983.
- [64] P. W. Higgs, “Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons”, *Physical Review Letters*, 1964.
- [65] P. W. Higgs, “Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields”, *Physical Letters*, 1964.
- [66] G. Aad (ATLAS Collaboration), “Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC”, *Physics Letters B*, 2012.
- [67] C. Beskidt vd., “Constraints on Supersymmetry from LHC Data on SUSY Searches and Higgs Bosons Combined with Cosmology and Direct Dark Matter Searches”, *European Physical Journal C*, 2012.
- [68] M. Weisberg, “Three Kinds of Idealization”, *The Journal of Philosophy*, 2007.
- [69] E. McMullin, “Galilean Idealization”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 1985.
- [70] F. Schreiber, F. Zanini & F. Roosen-Runge, “Virial Expansion – A Brief Introduction”, *Ders Notu, Tübingen Üniversitesi*, 2011.
- [71] S. Dong, “Wave Equations in Higher Dimensions”, *Springer*, 2011.
- [72] S. Ryu vd., “Topological Insulators and Superconductors: Tenfold Way and Dimensional Hierarchy”, *New Journal of Physics*, 2010.
- [73] E. Witten, “2 + 1 Dimensional Gravity as an Exactly Soluble System”, *Nuclear Physics B*, 1988.
- [74] I. M. Benn, R. W. Tucker, “An Introduction to Spinors and Geometry with Applications in Physics”, *Adam Hiler Publishing*, 1987.
- [75] A. Trautman, “Einstein-Cartan Theory”, *Encyclopedia of Mathematical Physics*, 2006.
- [76] M. Boucetta, “Riemannian Geometry of Lie Algebroids”, *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 2011
- [77] N. Hitchin, “Generalized Calabi-Yau Manifolds”, *The Quarterly Journal of Mathematics*, 2003.
- [78] T. Dereli, K. Doğan, “Metric-Connection Geometries on Pre-Leibniz Algebroids: A Search for Geometrical Structure in String Models”, *Journal of Mathematical Physics*, 2021.

- [79] E. Wigner, “On Unitary Representations of the Inhomogeneous Lorentz Group”, The Annals of Mathematics, 1939.
- [80] X. Bekaert, N. Boulanger, “The Unitary Representations of the Poincare Group in Any Spacetime Dimension”, Ders Notu, Modave Summer School in Mathematical Physics, 2006.