



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 2
Article Number: A0063

NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PHYSICAL EDUCATION

Received: September 2007

Accepted: January 2008

© 2008 www.newwsa.com

Ahmet Yavuz

University of Niğde

ahmetyavuz@hotmail.fr

Niğde-Türkiye

BİR MEKANİK PROBLEMİNİN EVRİMİ: ATWOOD ALETİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Bu araştırmada, evrensel ve klasik bir fizik problemi olan Atwood aleti probleminin, hangi evrelerden geçip günümüzdeki halini aldığı ve nedenleri tartışılmaktadır. Zaman içinde Atwood aleti problemlerinde meydana gelen değişiklikleri ortaya çıkartmak, öğretmen ve öğrencilerin alışlagelmiş problem çözme stillerinin kaynağını ve fizik eğitiminde problem çözmenin asıl nedenini anlamaya yardımcı olması açısından gereklidir. Atwood aleti düzeneğinin icat edildiği dönemi daha iyi anlamak için mekanik alanındaki önemli gelişmeler Kuhn'un paradigma kavramı doğrultusunda özetlenmektedir. Fransa Milli Kütüphanesi Dijital Kütüphanesinde, Atwood aletini içeren 18. ve 19. yüzyıllarda yayınlanan, 10 ders kitabı belirlenen yöntemle analiz edilmektedir. Atwood aletinin icat edildiği tarihten günümüze kadar olan süre incelendiğinde, bu düzeneğe ilgili problemlerin ve çözümlerinin tamamen değiştiği gözlenmektedir. Araştırmanın son bölümünde bu değişiklikler, özellikle deneysel mekanikten analitik mekaniğe geçişle açıklanabilecek olan paradigma değişimine bağlı olarak tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atwood Aleti, Tarihsel Analiz, Problem Çözümleri, Paradigma Değişimleri, Problem Çözümlerinin Evrimi

EVOLUTION D'UN PROBLEME DE MECANIQUE: EXEMPLE DE LA MACHINE D'ATWOOD

RESUME

Ce travail a pour objectif de mettre en évidence l'évolution du rapport à la résolution de problèmes en mécanique à travers l'étude du dispositif de la machine d'Atwood dans les manuels parus entre XVIIIe et XIXe siècle. L'étude de cette évolution permet de mieux comprendre certaines habitudes des enseignants et des étudiants lors de la résolution de problème, ainsi que de répondre à la question pourquoi la résolution de problème est une activité importante en physique. D'abord, les développements en mécanique, de Galilée à Lagrange, sont résumés en termes du concept de paradigme de Kuhn afin de mieux situer la période où le dispositif a été inventé et afin de mieux comprendre l'étude de ce dispositif dans les manuels anciens. Dans cette recherche, l'analyse de 10 manuels de physique, trouvés au sein du projet de la Bibliothèque Numérique permet de constater que l'étude du dispositif de la machine d'Atwood, ainsi que la résolution de problèmes sur ce dispositif ont profondément changé. Ce changement est essentiellement lié au changement de paradigme qui s'explique par le passage d'une mécanique expérimentale à une mécanique analytique.

Mots Clés: Machine d'Atwood, Etude historique, Résolution de Problèmes, Changements de Paradigmes, Evolution de Résolution Problèmes en Mécanique

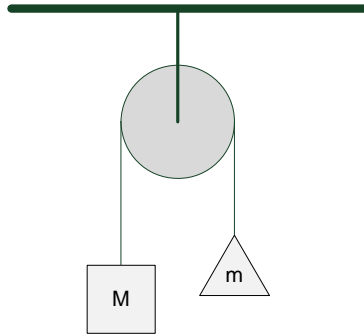
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atwood aleti ismiyle anılan düzenek, Newton yasalarından bir asır sonra 1782 yılında George Atwood tarafından icat edilmiştir. Bu düzenek, mekanik eğitiminde ilk olarak Atwood'un 1784 yılında yayınladığı "Düzgün doğrusal hareket ve cisimlerin dönmesi üzerine bilimsel inceleme" (*Treatise on the Rectilinear Motion and Rotation of Bodies*) isimli kitabında yer almış ve günümüze kadar ulaşmıştır.

Atwood aleti, icat edildiği çağda bilim adamları tarafından Galileo'nun eğik düzlemine alternatif bir düzenek olarak kabul edilmiştir. Örneğin, 1857 tarihli üniversite öğrencilerine yönelik "Fizik Dersleri" [11] isimli kitapta rastlanılan "1782 yılında, Cambridge Üniversitesinde görev yapan İngiliz doktor Atwood, cisimlerin düşme hareketini Galileo'nun eğik düzlemine göre daha kolay ve daha ayrıntılı olarak inceleyebileceğimiz çok gelişmiş bir aleti bizlere tanıttı"[11] şeklindeki ifade de bunu doğrulamaktadır.

20.yüzyılın filozof ve bilim tarihçisi Kuhn'a göre ise bu düzenek, ilk defa Newton'un ikinci yasasını tartışmasız bir şekilde ispatlamayı sağladı [21]. Kuhn, Newton'un "Principia" isimli eseri olmasaydı, Atwood aleti ile gerçekleştirilen ölçümlerin de bir anlamı olmayacağını belirtmektedir [21].

Günümüzde Atwood aleti evrensel (hemen her ülkede karşılaşılan) ve klasik (öğrencilerin alışlagelmiş biçimde mutlaka karşılaştıkları) mekanik problemlerinden biridir [33]. Günümüz Atwood aleti probleminde, kütleleri birbirinden farklı iki cisim, esnek olmayan ve ağırlığı önemsenmeyen bir ip vasıtasıyla birbirine bağlıdır. İp, ideal (ağırlığı ve sürtünmesi önemsenmeyen) bir makara üzerinden geçmektedir (Şekil 1). Bu problemde, genellikle iki cismin ivmesi ve/veya ipin üzerindeki gerilme kuvvetinin değeri öğrencilerden istenmektedir [33].



Şekil 1. Atwood aleti problemlerinde genellikle karşılaşılan şema
(Figure 1. Figure du dispositif actuel de la machine d'Atwood)

Günümüzde sıkça karşılan çözümden [26], Newton'un ikinci yasasının ($\sum \vec{F}_{net}$: cismin üzerine uygulanan dış kuvvetlerin toplamı, m : cismin kütlesi, \vec{a} : cismin ivmesi olmak üzere)

$$\sum \vec{F}_{net} = m\vec{a} \quad (1)$$

genel formülü Atwood aleti düzeneğini için aşağıdaki şekilde yazılır

$$T - Mg = Ma \quad (2)$$

$$mg - T = ma \quad (2)$$

ve problemin çözümünü olan

$$\|\vec{a}_M\| = \|\vec{a}_m\| = \frac{M - m}{M + m}g \quad (3)$$

matematiksel ifade elde edilmiş olur ($\|\vec{a}_M\|$ ve $\|\vec{a}_m\|$: M ve m kütlelerinin ivmelerinin normu, g : yerçekimi ivmesi). Bu çözüm esnasında, cisimlerin



ivmelerinin ve ipin üzerindeki gerilme kuvvetinin normu eşit kabul edilir. (3) denkleminde, cisimlerin ivmelerinin yerçekimi ivmesinden

$$\frac{M-m}{M+m} \quad (4)$$

oranında küçük olduğu ve bu oran miktarınca hareketin serbest düşme hareketine göre yavaşladığı görülmektedir.

Bu bölümde, önce mekanik biliminin hangi süreçlerden geçip günümüzdeki halini aldığı Kuh'un paradigma kavramı doğrultusunda özetlenecektir. Daha sonra ise Atwood aleti problemi literatürde bulunan araştırmalar doğrultusunda analiz edilecektir. Bu iki analiz, icat edildiği tarihteki Atwood aleti incelemelerini anlamaya ve günümüzdeki Atwood aleti incelemesiyle karşılaştırmaya yarayacaktır.

1.1. Paradigma Kavramı Işığında Mekanik Alanındaki Önemli Gelişmeler (Développements en Mécanique à la Lumière du Concept de Paradigme)

1.1.1. "Paradigma" Kavramı (Concept de «Paradigme»)

Bu araştırmada "paradigma" kavramı, bir zaman diliminde gerçekleştirilen bilimsel aktivitenin kabul edilebilirlik şartlarını [5 ve 29] ve bir bilimin gelişim sürecini açıklayabilmesinden dolayı büyük önem taşımaktadır [5].

"*Bilimsel devrimlerin doğası*" isimli kitabın yazarı Kuhn'a göre, "paradigma" ile eşleştirilen kavram "olağan bilim" olarak adlandırılan süreçtir [21 ve 29]. Olağanlık, bir akademik kurumda belirli bir zaman diliminde alışılmalı, ortak kabul edilen olguları ifade etmektedir [29]. Benzer bir tanımda Türk Dil Kurumu sözlüğünde bulunmaktadır. Sözlükte bu kavram, "*Belirli bir alanda çalışan bilim adamlarının paylaştığı ortak değerler ve anlayışlar dizisi*" şeklinde tanımlanmıştır. Bu sebepten dolayı ortak değerler ve anlayışlar dizisi olan "paradigma" kavramı günümüzdeki Atwood aleti probleminin çözümünü ve icat edildiği dönemdeki Atwood aleti problemi ve çözümlerinin kabul edilebilirliğini açıklamaya yardımcı olacaktır.

Bir bilimin ilerleme süreci de paradigma kavramı ile açıklanabilir. Sonu olmayan bu süreç, Chalmers tarafından şu şekilde ifade edilmektedir [5]: "*Modern bilim öncesi - Olağan Bilim - Kriz ve devrimler - Yeni olağan bilim - Yeni kriz ve devrimler*". Kuhn, "olağan bilim" sürecinde olumlu nitelikler bulmaktadır. Bu süreç, paradigmanın etkisini yitirip bilimin tıkanma noktasına geldiği "kriz ve devrimler" sürecine kadar, bilimsel çalışmaları artıran, gelişmelere ve yeni icatlara imkân sağlayan şart olarak düşünülmektedir [29]. Böylece, aşağıda da görüleceği gibi, Mekanik biliminin niçin birkaç asır içerisinde hızla geliştiği bu kavram ışığında aydınlatılabilmektedir.

1.1.2. Galileo'dan Lagrange'a Mekanik Biliminin Gelişimi (Développements en Mécanique de Galilée à Lagrange)

Galileo'nun çalışmaları modern mekanik biliminin gelişmesinde önemli yer tutar. Galileo mekaniği Chalmers'in ifade ettiği süreçler içerisinde "modern bilim öncesi" sürecinin noktalandığını ve olağan bilim sürecinin temellerinin atıldığını gösterir. Çünkü Galileo, çalışmalarında gözleme ve deneye büyük önem vermiştir [25] ve Aristo fiziği ve ortaçağ fiziğinden beri süre gelen "neden" arayışını bir kenara bırakmıştır [20]. Galileo, 1632 yılında "*İki büyük dünya üzerine diyaloglar*" isimli kitabında, Galileo yasaları olarak da bilinen serbest düşme yasalarını açıklamıştır. Galileo, serbest düşme yapan cismin aldığı yolun zamanın karesiyle orantılı olduğunu belirtmekte ve yasa günümüzde aşağıdaki matematiksel ifade ile verilmektedir:

$$x = \frac{1}{2}gt^2 \quad (5)$$

(x:serbest düşme halindeki cismin t zamanında aldığı yol, g :yerçekimi ivmesi). Bu yasanın Atwood aletinin icadında önemli yer tuttuğu ilerde görülecektir.

Newton 1687'de "*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*" (Doğa felsefesinin matematiksel prensipleri) isimli kitabını yayınlayarak, mekaniğe dinamizm getirmiştir [2]. Yani kinematik kavramları, dinamik kavramlara (kuvvet kavramına) ikinci yasasıyla başlamıştır [2]. Newton, ikinci yasasıyla Galileo gibi neden arayışlarını bir kenara bırakıp, kuvvet kavramını matematiksel olarak ifade ederek yeni mekanik biliminin doğuşunu hazırlamıştır [9]. Böylece Kuhn'un "Newton paradigması" olarak adlandırdığı "olağan bilim" süreci başlamıştır. Bu olağan bilim süreci, 19. yüzyılın sonlarında klasik mekaniğin tıkanıdığı "krizler" sürecine kadar devam edecek olan bir süreçtir. Chalmers, Newton paradigmasını şu şekilde açıklamaktadır: "Dünyadaki her şey bir mekanik sistemi olarak kabul edilir ve bu sistem, Newton'un hareket yasalarındaki gereksinimleri karşılayan, değişik kuvvetlerin etkisi altındadır" [5].

Fakat Newton, ikinci yasasını bugünkü haliyle bildiğimiz (1) denklemdeki matematiksel ifadeyle belirtmemiştir. Newton'un söylediği sadece "cismin momentum değişimi cisme uygulanan kuvvetle orantılıdır" ifadesiyle sınırlıdır [3]. Blay, Newton'un ikinci yasasını günümüzdeki matematiksel ifadelerle yazmak gerekirse, en yakın ifadenin $F \approx \Delta(mv)$ olacağını belirtmektedir ($\Delta(mv)$:cismin momentum değişimi) [3].

Newton paradigmasını izleyen bilim adamları, bu paradigma içinde daha güvenilir gözlem ve ölçümler için deneysel yöntemler geliştirmiştir [5]. En önemli çalışmalar ise, Newton paradigması içinde matematiksel yöntemlerin geliştirilmesi olmuştur [5]. D'Alembert, Euler ve Lagrange gibi bilim adamlarının çalışmaları Newton paradigması içerisinde geliştirilen matematiksel yöntemlere birer örnektir. Bu çalışmalar, günümüzde bulunduğumuz paradigmayı ve düzeneğin icat edildiği dönemde içinde bulunulan paradigmaları anlamak için gereklidir.

Matematiğin mutlaklığının bir avantaj olduğunu ve fiziğin bunu kullanması gerektiğini savunan Fransız fizikçisi D'Alembert, 1743 yılında "*Dinamik incelemeleri*" isimli kitabını yayınlamıştır [8]. Bu kitabında "sanal iş prensibi" veya kendi ismiyle anılan prensibi açıklamıştır. Bu prensibe göre, sürtünmesiz bağlanmış katılar sistemine uygulanan ve eylemsizlik kuvvetlerini de içeren bütün kuvvetlerin yaptığı işlerin toplamı, bağlarla bağdaşan her edimsiz (sanal) yer değişimi için sıfırdır. D'Alembert'in ifade etmiş olduğu prensip günümüzde aşağıdaki matematiksel ifade ile gösterilmektedir:

$$\sum_{\alpha=1}^N (m_{\alpha} \vec{a}_{\alpha} - \vec{F}_{\alpha}) \delta \vec{r}_{\alpha} = 0 \quad (6)$$

(α :sistemde birbirleriyle bağlanmış cisim sayısı, $m_{\alpha} \vec{a}_{\alpha}$: α cisminin eylemsizlik kuvveti, \vec{F}_{α} : α cismine uygulanan kuvvet, $\delta \vec{r}_{\alpha}$: α cisminin sanal yer değiştirmesi).

Her ne kadar, mekanik biliminin Newton tarafından temelleri atılsa da, bu bilimi günümüzdeki haline getiren Euler olduğu kabul edilmektedir [12]. İsviçreli matematikçi ve fizikçi olan Euler, Newton'un kullandığı kavramları geliştirerek daha açıklayıcı hale getirmiş ve mekanik problemlerinin analitik yöntemlerle nasıl çözüleceğini göstermiştir. Euler'in çalışmalarını takip eden Lagrange, "*Analitik Mekanik*" ismini verdiği kitabını 1784 yılında yayınlamıştır



[22]. Lagrange, kitabının önsözünde fizik teorilerini ve bu teorilerle ilgili problem çözme metotlarını genel formüllere indirgediğini belirtmektedir. Bu genel formüller, verilen problemlere uygulanarak, çözümler artık kolayca elde edilebilmektedir. Lagrange, yaptığı çalışmanın önemini ve kurmuş olduğu mekaniği şu şekilde açıklamıştır: "Sunduğum metotlar ne geometrik ne de mekanik usavurma gerektirmemektedir. Matematiksel Analiz'i sevenler mekaniğin yeni bir bilim dalı haline geldiğini büyük bir zevkle göreceklerdir" [22]. Böylelikle, bugün analitik mekanik veya klasik mekanik olarak adlandırılan matematiksel mekanik ortaya çıkmıştır.

Paradigma kavramı doğrultusunda yapılan bu kısa tarihi inceleme, Atwood aletinin

- Newton yasalarının tanındığı
- Newton paradigmasının bilim adamlarının çalışmalarına yön verdiği ve mekanikte matematiksel tekniklerin geliştirilip kullanılmasına imkân sağladığı bir dönemde icat edildiğini göstermiştir.

Ayrıca, günümüz problem çözümlerinde, öneminin farkında olmadan gerçekleştirilen (fizik prensiplerinin genel formüllerinin, verilen bir problem için yazılıp çözülmesi gibi) bazı davranışların, 18. yüzyıldaki bilim adamlarının esas amacını teşkil ettiği de öğrenilmektedir.

1.2. Günümüzde Karşılaşılan Atwood Aleti Probleminin Analizi (Analyse de la Résolution du Problème Actuel de la Machine d'Atwood)

Yapılacak olan bu analiz, Atwood aleti ve problemi üzerine sorulacak olan "Atwood aleti düzeneği nerede ve hangi amaçla veriliyor?", "Özellikleri nelerdir?", "Nasıl çözülür?" sorularıyla özetlenebilir. Son olarak cevabı aranacak soru ise, bu üç sorunun cevabını doğrulamaya yarayacak olan "Niçin?" sorusudur. Örneğin, "Atwood aleti niçin böyle bir yerde ve böyle bir amaçla veriliyor?", "Niçin bu özelliklere sahiptir?", "Niçin bu şekilde çözülüyor?". Bu soruların cevabı ise paradigma kavramı altında yorumlanacaktır.

1.2.1. Atwood Aleti Probleminin Mekanik Eğitiminde Verildiği Yerler ve Amaçları (Problème de la Machine d'Atwood Dans l'enseignement Actuel de la Mécanique et Son Objectif)

"Eğitimin Antropolojik teorisi" isimli teorinin kurucusu olan Chevallard, bu teori içinde "ekolojik analiz" metodunu tanıtmıştır [6]. Bu analize göre, eğitimde karşılaşılan bilgi ve objeler bir ekolojik sistemin içinde kabul edilip, habitat ve nişleriyle nitelendirilmektedir. Habitat bir objenin bulunduğu yeri, niş ise bulunduğu yer içindeki amacını tanımlamaktadır. Bu çalışmada bu analizin detaylarına girilmeyecektir. "Habitat ve niş" terimleri yerinde "bulduğu yerler ve amaçları" terimleri kullanılacaktır. Bu analiz, Atwood aleti düzeneğinin mekanik eğitimindeki yerini ve amacını anlama konusunda yardımcı olacaktır.

Günümüzde Atwood aleti problemiyle genellikle mekanik uygulamaları dersinde bir problem olarak karşılaşılmaktadır [33]. Kitaplarda ise, Newton yasalarının teorik açıklamasından sonra örnek olarak veya "alıştırmalar" adı altında verilen bir problemdir [33] (Klasik Mekanik dersi kapsamında ise D'Alembert prensibinin veya Euler-Lagrange denklemlerinin bir uygulaması olarak da öğrencilere çözdürülebilmektedir).

Atwood aleti probleminin amacı ise Newton yasalarının öğrenilmesine dayanmaktadır. Atwood aleti probleminin çözümündeki amaç, problemin çözümü olan matematiksel ifadeyi elde etmenin



ötesindedir. Problemin çözümü olan matematiksel ifade deney yapmadan da düzenekteki hareket üzerine öngörülerde bulunabileceğini göstermektedir. Örneğin kütlelerin değerlerine göre cisimlerin ivmelerinin, hızlarının ve yer değiştirme miktarlarının öngörülmesi mümkündür. Dolayısıyla amaç, "Newton yasalarını kullanarak, Atwood aleti düzeneğindeki cisimlerin hareketini deney yapmadan, gerekli ölçümleri gerçekleştirilmeden incelemek ve hareket üzerine öngörüle bulunmak" olarak ifade edilebilir.

1.2.2. Günümüzde Atwood Aleti Probleminin Analizi (Analyse de L'énoncé du Problème Actuel de la Machine d'Atwood)

Günümüzde problem çözümleri fizik eğitiminde iki önemli rolü üstlenmektedir. Bunlar, fizik kavramlarının problem çözümleriyle öğretilmesi ve öğrencilerin genellikle problem çözme yeteneklerine göre notlandırılmasıdır [13]. Fakat fizik eğitiminde klasik olarak karşılan problemler, bazı araştırmacılar tarafından eleştirilmekte ve bu tür problemler "konu sonu problemleri" [17] veya "okul problemleri" [13] olarak adlandırılmaktadır. Bu tür problemler bilimsel ve günlük hayattaki problemlerden ayrılmaktadırlar. Atwood aleti problemi de aşağıdaki sebeplerden dolayı bir "konu sonu" problemidir:

- Düzenek tamamen modellenmiştir. Düzenekte kullanılan nesnelere somut ve günlük hayatta karşılaşılabilecek türden değildir. Örneğin, Şekil 1'de görülen daire makarayı, iki dik çizgi ipi, kare ve üçgen yükleri temsil etmektedir.
- Bazı fiziksel büyüklükler (sürtünme kuvveti, cisimlerin ivmesi gibi) soru içinde verilmektedir.
- Sorulan soru, cisimlerin ivmesinin ve/veya ipteki gerilme kuvvetinin hesaplanması gibi bir fiziksel büyüklüğün değerinin hesaplanmasını istemektedir.

1.2.3. Atwood Aleti Probleminin Çözümünün Analizi (Analyse de la Résolution du Problème de la Machine d'Atwood)

Genel olarak, bir problemin çözümü bir süreç olarak kabul edilebilir ve bu süreç içerisinde problem çözme stratejisi önemli bir etkidir [1]. Bu strateji davranışlar bütünü olarak kabul edilebileceği gibi [1], bir amaç doğrultusunda oluşturulan bir yol veya süreçler bütünü olarak ta kabul edilebilir [28]. Problem çözme stratejileri üzerine yapılan araştırmalarda, araştırmacılar değişik stratejiler önermekte ve bu stratejilerde ortak olan nokta ise, ilgili fizik prensibinin genel yasasının kullanılarak problemin çözümünün elde edildiği süreçtir [16, 24, 27, 28 ve 32]. En genel ifadeyle, bu süreçte daha önce öğrenilmiş olan teorik bilgi ve kavramlar düzenli bir biçimde harekete geçirilir ve çözüm elde edilir [13].

Atwood aleti probleminin çözümünde izlenen strateji, Newton'un ikinci yasasının genel formülünün bu düzenek için yazılıp, çözüm olan denklemin elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Bu strateji; her iki cisim üzerine etki eden toplam dış kuvvetlerin bulunması, Newton'un ikinci yasasının veriler dâhilinde her iki cisim için yazılması, denklemlerin çözülüp problemin çözümü olan matematiksel ifadenin elde edilmesi gibi aşamalarla detaylandırılabilir. Atwood aleti probleminin çözümünde ağırlık, gerilme kuvveti gibi kuvvet kavramlarıyla, kütle, ivme gibi kinematik ve dinamik kavramları harekete geçirilmektedir.

1.2.4. Atwood Aleti Probleminin Çözümü Esnasında İçinde Bulunulan Paradigma (Paradigme Dans Lequel on se Trouve Lors de la Résolution du Problème de la Machine d'Atwood)

Atwood aleti probleminin çözümü Newton paradigması içinde gerçekleştirilmektedir. Bu Chalmers'ın ifade ettiği Newton paradigması



ve Lagrange'ın belirtmiş olduğu mekanik biliminin amacıyla açıklanabilir.

Chalmers'e göre Newton paradigması, fiziki dünyadaki her şeyi bir mekanik sistem olarak kabul eder ve bu sistemlerin Newton yasalarına uygun olarak belirlenen kuvvetlerin etkisi altında hareket ettiğini belirtir [5]. Atwood aleti probleminin çözümünde de cisimler birer sistem olarak kabul edilip, cisimlere etki eden kuvvetlerin bulunmasıyla çözüm gerçekleştirilir. Dolayısıyla günümüzde Atwood aleti problemi çözümü Chalmers'ın ifade ettiği Newton paradigması tanımına uymaktadır.

Lagrange "Analitik Mekanik" isimli kitabının önsözünde, amacının fizik teorilerini ve bu teorilerle ilgili problem çözme metodlarını genel formüllere indirgemek olarak belirtmişti [22]. Lagrange'a göre, genel formüller verilen problemlere uygulanıp çözümler elde edilebilmektedir. Atwood aleti problemini çözerken içinde bulunan paradigma, Lagrange'ın belirttiği bu amaca eşdeğerdir. Çünkü (1) denklemde belirtilen Newton'un ikinci yasasının genel formülü, Atwood problemi için yazılıp çözüm gerçekleştirilmektedir. Aşağıda ifade edilen tasım, bu paradigmayı özetlemektedir:

- Atwood aleti düzeneği mekaniksel bir sistemdir.
- Mekanik prensiplerinin genel formülleri verilen bir mekanik sistem için yazılarak çözüm elde edilebilir.
- O halde Atwood aleti düzeneği mekanik prensiplerini kullanılarak çözülebilir.

Atwood aleti probleminin niçin bu şekilde çözüldüğü paradigma kavramıyla açıklanabilmektedir. Fakat Atwood aleti probleminin amacını veya özelliklerini açıklayabilmek, tarih sürecinde hangi evrelerden geçtiğini incelemekle mümkün olacaktır. Buda çalışmanın amacını teşkil etmektedir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI (OBJECTIF DE LA RECHERCHE)

Bu araştırmanın amacı, Atwood aleti probleminin hangi evrelerden geçip günümüzdeki halini aldığını analiz etmek ve bu analizin doğurduğu eğitimsel çıkarımları tartışmaktır.

3. YÖNTEM (METHODOLOGIE)

3.1. Örneklem (Données d'Analyse)

Bu araştırmanın örneklemine, Fransa Milli Kütüphanesi Dijital Kütüphane sistemi "Gallica" projesinde bulunan, 1784-1880 yılları arasında yayınlanmış 10 üniversite düzeyi fizik ders kitabı oluşturmaktadır. Bu kitaplardan 9'u Fransız bilim adamları tarafından yazılmış, 1 kitap Almanca'dan Fransızca'ya çevrilmiş, 1 kitap ise Alman bilim adamı tarafından yazılmıştır. Yazarların hepsi Fransız ve Alman üniversitelerinde öğretim üyesi olarak görev yaptıkları sırada bu kitapları hazırlamışlardır.

Kitaplar, Gallica projesinin arama motoru sayesinde bulunmuştur. Proje ana sayfasında (<http://gallica.bnf.fr>) bulunan "Arama (Recherche)" butonu tıklanarak, arama sayfasındaki "Serbest arama (Recherche libre)" bölümüne "Atwood", "Atwood aleti (Machine d'Atwood)" ve "George Atwood" kelimeleri girilmiştir. Arama yapılırken "Tüm belgeler (Tous les documents)" seçeneği işaretlenmiştir. Böylelikle, resim dosyası halinde kaydedilmiş monografiler, süreli yayınlar, resim dosyaları, el yazısı belgeler, ve metin halindeki eserler arasında sistemin arama yapması sağlanmıştır.



3.2. Analiz Yöntemi (Méthodologie D'Analyse)

10 ders kitabı, günümüzdeki Atwood probleminin analizinde olduğu gibi, aşağıdaki sorulara aranılacak cevaplarla analiz edilmiştir. Bu sorular şunlardır:

- Atwood aleti kitaplarda hangi bölümde ve hangi amaçlarla veriliyor?
- Atwood aleti incelemesi neleri içeriyor? Nasıl ve ne tür şemalarla tasvir ediliyor?
- Atwood aleti üzerine olan problemlerin çözümlerinde izlenen stratejiler nelerdir?
- Kitaplardaki Atwood aleti incelemeleri hangi paradigmlar doğrultusunda açıklanabilir?

Bu dört madde aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

3.2.1. Ders Kitaplarında Atwood Aletinin Tanıtıldığı Bölümler ve Bu Bölümlerde Atwood Aletinin Amacı (Parties de Manuel où on Trouve la Présentation de la Machine D'Atwood et L'Objectif de ce Dispositif Dans Ces Parties)

Bu araştırmada ilk olarak, "Atwood aleti nerede tanıtılıyor?" sorusunun cevabı aranmıştır. "Gallica" projesinin arama motoru bu soruya cevap vermeye olanak sağlamıştır. Projede yer alan dijital kitapların "içindekiler" bölümü titizlikle hazırlanmıştır. Örneğin, bir kitap içerisindeki problemlerin başlıkları da "içindekiler" dosyasına eklenmiştir. "Atwood aleti" yazılarak yapılan araştırmada bile, Dijital Kütüphane sistemi herhangi bir kitabın içindeki Atwood aleti problemini arayıp bulabilmektedir. Böylelikle, her kitap içerisinde Atwood aletinin verildiği ilgili bölümler tespit edilmiştir.

Atwood aleti düzeneğinin ilgili bölümlerdeki amacını bulmak için "Atwood aleti düzeneği neden tanıtılıyor?" sorusunun cevabı aranmıştır. 10 ders kitabının, düzeneğin icat edildiği tarihlerde yayınlanan kitaplar olması nedeniyle, yazarlar henüz yeni olan bu düzeneği tanıtırken amacını da genellikle belirtmişlerdir. Amacın açık olarak belirtilmediği durumlarda, yazarın gerçekleştirmiş olduğu işlemler incelenerek amaç belirlenmiştir.

3.2.2. Atwood Aletinin Tasvirleri ve Şemaları (Descriptions de la Machine d'Atwood et Ses Figures)

Kitap analizinin ikinci aşamasını, kitaplarda verilen Atwood aleti düzeneğinin içeriği araştırılmıştır. "Atwood aleti nasıl tanıtılıyor?" ve "Atwood aleti hangi inceleme ve/veya problemleri içeriyor?" sorularının cevabı aranmıştır.

Günümüzde verilen Atwood aletinin modellenmiş şeması ve problem metinlerindeki tasviri göz önünde bulundurularak karşılaştırma yapılmıştır. Özellikle, icadından hemen sonra yayınlanan 1784 tarihli ders kitabı, düzeneğin orijinal hâlini ortaya koymaya imkân sağlamıştır.

3.2.3. Atwood Aleti Üzerine Çözülen Problemlerde İzlenen Stratejiler (Stratégies Suivies Lors de la Résolution de Problèmes Sur la Machine D'Atwood)

Analizin üçüncü aşamasında Atwood aletine ilişkin problem çözümleri detaylı olarak incelenmiştir. "Problemler nasıl çözülüyor?" sorusunun cevabı aranmıştır. Problem çözümünün bir süreçler bütünü olduğu göz önünde bulundurularak, fizik yasalarının kullanılarak sonuç elde edilmesi sürecin öncesinde ve/veya sonrasında gerçekleştirilen süreçler tespit edilmiştir.



3.2.4. Mekanik Eğitiminde Kabul Edilen Paradigmaların Analizleri (Analyse Des Paradigmes Dans L'Enseignement de la Mécanique)

"Atwood aleti ile ilgili tüm bu işlemler niçin bu şekilde gerçekleştiriliyor?" sorusunun cevabı aranmıştır. "Paradigma" en basit ifadesiyle belirli bir zamanda bir akademik toplulukta kabul edilen anlayışlar dizisi olarak tanımlanır. Bu tanım doğrultusunda kitaplardaki Atwood aleti incelemeleri arasındaki ortak noktalar ve farklılıklar tespit edilip, bunlar mekanik biliminin gelişim sürecinde göz önüne yorumlanmıştır.

4. ANALİZ VE BULGULAR (ANALYSE ET EXPLORATION DES RESULTATS)

4.1. Atwood Aletinin Verildiği Bölümler ve Amacı (Parties de Manuels où l'on Trouve la Machine D'Atwood et Son Objectif)

4.1.1. Atwood Aletinin Verildiği Bölümler (Parties de Manuels où l'on Trouve la Machine D'Atwood)

1784-1880 yılları arasında yayınlanan kitaplarda, Atwood aletinin hangi konu başlığı altında verildiği hususu Tablo 1'de belirtilmektedir.

Tablo 1. 1784-1880 yılları arasında yayınlanan kitaplarda Atwood aletinin yer aldığı bölümler
(Tableau 1. Parties des manuels où l'on trouve la machine d'Atwood)

Kitaplar	Atwood aletinin verildiği bölüm
1784[31] (ss:143-170)	"İvmeli veya gecikmeli hareketin yasalarını ispatlamaya yarayan aletler" bölümünde "Atwood aleti" alt konu başlığında
1819[14] (ss:36-41)	"Katı cisimler" bölümünde "Atwood aleti" alt konu başlığında
1840[23] (ss:34-36)	"Yerçekimi yasaları" bölümünde "Atwood aleti" alt konu başlığında
1852[10] (ss:95-108)	
1857[11] (ss:21-23)	
1858[18] (ss:50-57)	
1865[7] (ss:48-50)	
1876[15] (ss:41-45)	
1878[19] (ss:41-46)	
1880[30] (ss:506-507)	"Katı cisimlerin hareketi -D'Alembert sanal iş yasası" bölümünde bir problem olarak

İcat edildiği tarihten 1880 yılına kadar, Atwood aletinin değişik bölümlerde verildiği bu tabloda görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta ise, icat edildiği tarihten itibaren ayrı bir başlık altında, bir konu olarak anlatılan düzeneğin, 1880 yılına gelindiğinde günümüzde olduğu fizik prensiplerinin anlatılmasından sonra bir "konu sonu" problemi olarak karşımıza çıkmasıdır.

4.1.2. Atwood Aletinin Amacı (Objectif de la Machine d'Atwood Dans les Manuels)

1784 tarihli kitabın yazarı, Galileo yasalarını tanıttıktan sonra, Atwood aleti düzeneğinin Galileo yasalarını doğrulamaya yaradığını bildirmektedir [31].

1818-1878 tarihleri arasında yayınlanan 8 kitapta, Atwood aletinin amacı, 1784 yılında yayınlanan kitapta olduğu gibi Galileo yasalarının doğrulanması olarak belirtilmiştir. Bu araştırmanın "Giriş" paragrafında, 1857 tarihli kitaptan alınan "Atwood, cisimlerin düşme hareketini Galileo'nun eğik düzlemine göre daha kolay ve daha ayrıntılı olarak inceleyebileceğimiz çok gelişmiş bir aleti bizlere tanıttı." [11] şeklindeki alıntıda bunu göstermektedir.



1880 tarihli kitabın yazarı [30], Atwood aleti adı altında bir konu bulunmadığı için açık olarak amacını belirtmemiştir. Yazar tarafından yapılan işlemler, Atwood aleti düzeneğinin amacının günümüzdeki amaçla aynı olduğunu göstermektedir. Bu amaç, bir fizik prensibini kullanarak, Atwood aleti düzeneğindeki hareketin özelliklerini deney yapmadan öngörmek olarak belirtilebilir. Söz konusu olan fizik prensipleri ise (6) denklemde belirtilmiş olan D'Alembert prensibi ve (1) denklemde belirtilen Newton'un ikinci yasasıdır.

4.2. Atwood Aletinin Tasviri ve Şemaları (Description de la Machine d'Atwood et Schémas du Dispositif)

4.2.1. Atwood Aletinin Tasviri (Description de la Machine d'Atwood)

1784 tarihli kitabın yazarı, düzenek hakkındaki tüm detayları, düzenekte kullanılan parçaların hangi malzemelerden yapıldığını, niteliklerini, boyutlarını ve parçaların montajı hakkındaki teknik bilgileri ön plana çıkararak tarif etmektedir. Düzenek günümüzde olduğu gibi geometrik şekillerle temsil edilen soyut bir şema ile değil, gerçeği aratmayacak ölçüde bir resimle tanıtılmaktadır (Şekil 2). Örneğin Atwood, bu düzeneği icat ederken kullandığı makarayı "sürtünmesiz ve ağırlığı ihmal edilen" makara olarak tanımlamamıştır. Makara 4 adet aynı çapta, 1 adette daha büyük olmak üzere toplam 5 çarktan oluşmaktadır. Böylelikle makara daha az bir sürtünmeye sebep vermektedir. Aynı şekilde "gergin ve ağırlığı ihmal edilen" bir ip ifadesi bulunmamaktadır. Atwood'un orijinal düzeneğindeki ip, hafif ve dayanıklı olması nedeniyle, yaklaşık 2 m uzunluğunda ve 0,19 gram ağırlığında olup ipektir.

Daha sonraki yıllarda bazı detaylar kaybolmuştur. Örneğin 1840 [23], 1852 [10] ve 1857 [11] yılında yayınlanan ders kitaplarında, "ipek ip" ifadesi kaybolmuştur. 1819 yılında yayınlanan ders kitabında ise [14], Atwood aletinin sadece amacı belirtilip herhangi bir tasviri yapılmamaktadır. 1880 yılına gelindiğinde ise Atwood aleti, günümüzde olduğu gibi kısa ve öz olarak bir problem metni halinde tanıtılmaktadır. Artık "ipek ip" değil "esnek olamayan ve ağırlığı ihmal edebilecek ip"; "beş çarktan oluşmuş makara" değil sadece nasıl yapıldığı belirtilmeyen, sürtünmesiz ve ağırlığı önemsenmeyen "makara" söz konusudur [30].

4.2.2. Atwood Aleti Şemaları

(Schémas du Dispositif de la Machine d'Atwood)

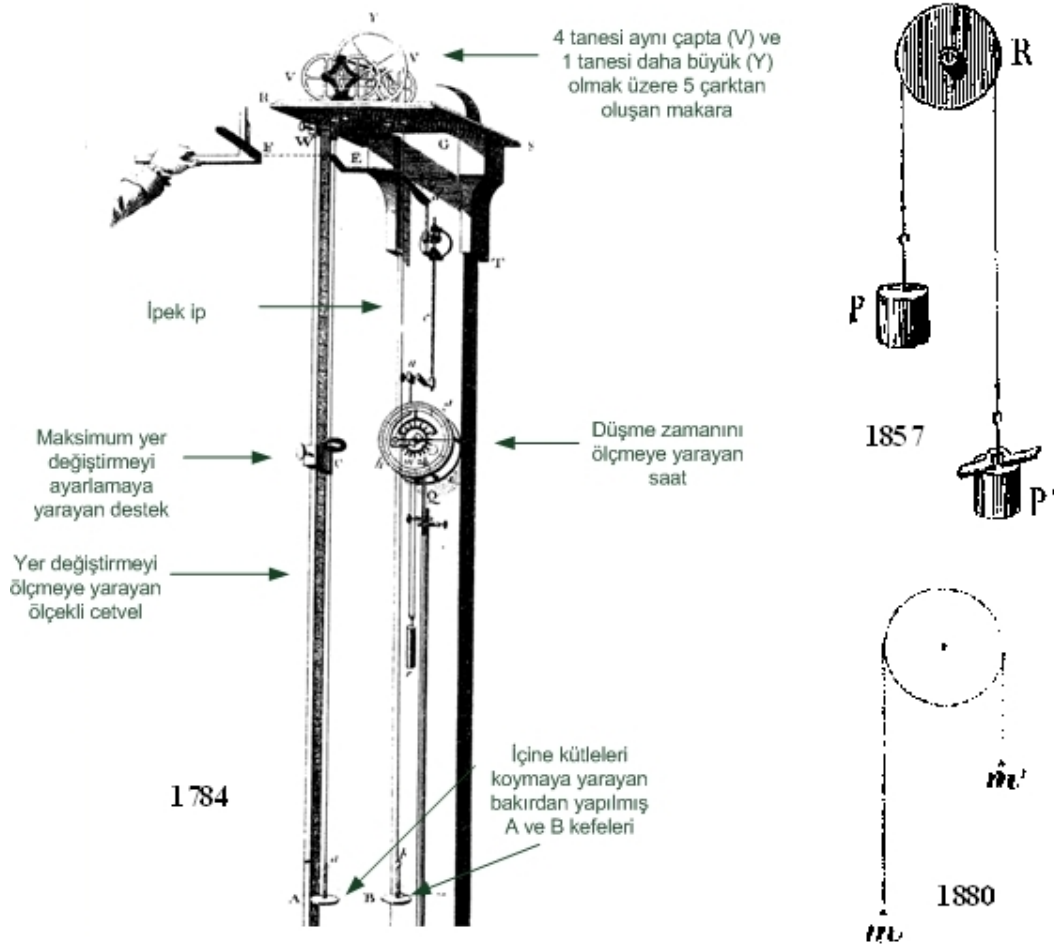
İncelenen kitaplarda, düzeneği ayrıntılı olarak gösteren deneysel şema ile modellenmiş şema olmak üzere 2 çeşit şema bulunmaktadır. Atwood aleti şemaları, düzeneğin icadını takip eden yıllarda sadece deneysel şemalardır. 19. yüzyılın ortalarında ise, modellenmiş soyut şemalar deneysel şemalara eşlik etmektedirler. Fakat 19. yüzyılın sonlarında deneysel şemalar yerlerini bugünkü gibi modellenmiş şemalara bırakmıştır.

Tablo 2'de kitaplarda rastlanılan şema türleri ve hangi kitaplarda bu tür şemalara rastlandığı belirtilmektedir. Ders kitaplarında, değişik zaman dilimlerinde karşılaşılan Atwood aleti şemaları Şekil 2'de verilmektedir.

Atwood aleti şemaları, düzeneğin icadını takip eden yıllarda sadece deneysel şemalardır. 19. yüzyılın ortalarında ise, modellenmiş soyut şemalar deneysel şemalara eşlik etmektedirler. Fakat 19. yüzyılın sonlarında deneysel şemalar yerlerini bugünkü gibi modellenmiş şemalara bırakmıştır.

Tablo 2. 1784-1880 yılları arasında yayınlanan kitaplarda Atwood aleti şemaları ve türleri
(Tableau 2. Schémas du dispositif de la machine d'Atwood dans les manuels et leur nature)

Şema Türü	Kitap Sayısı	Kitaplar
DeneySEL şema	5	1784[31], 1858[18], 1865[7], 1876[15], 1878[19]
DeneySEL şema ve modellenmiş şema	2	1852[10], 1857[11]
Modellenmiş şema	1	1880[30]
Şema yok	2	1819[14], 1840[23]



Şekil 2. Atwood aletinin değişik zaman diliminde verilen şemaları
(Şemaların yanlarında hangi tarihte yayınlanan kitaplardan alındıkları belirtilmektedir.)

(Figure 2. Figures du dispositif de la machine d'Atwood dans les manuels (L'année de publication des manuels dans lesquels les schémas ont été trouvés est montrée à côté des schémas))

Şekil 2'de üç ayrı kitapta bulunan Atwood aleti şemaları gösterilmektedir. Bu üç şema, Atwood aleti düzeneğinin zaman içindeki evrimini göstermek için güzel bir örnektir. 1784 yılındaki bulunan şemada, tüm detaylar (5 çarktan oluşan makara, zamanı ölçmek için



saat, içine yük koymak için iki kefe gibi) gösterilmektedir. 1857 yılında verilen şema ne kadar basitleştirilmişse de deneysel unsurları kaybetmemiştir. Şemaya bakıldığında ipin makara üzerindeki oluktan geçtiği, yüklerin ipe çengel vasıtasıyla bağlandığı, sağdaki ağırlığın üzerine konulan ek ağırlığın nasıl konulacağı gösterilmiştir. Oysa, 1880 yılındaki Atwood aleti şeması deneysel şemadan tamamen uzaktır ve soyuttur. Yükler nokta şeklinde, makara bir daire ve ortasına konulan nokta sayesinde, ip ise iki adet dik çizgiyle temsil edilmektedir.

4.3. Problem Çözümlerinde İzlenen Stratejiler (Stratégies Suivies Lors de la Résolution de Problèmes)

Tablo 3'de kitaplarda izlenen stratejiler özetlenmektedir. Atwood aleti üzerine çözülen problemlerde izlenen strateji 1784'den 1878'e kadar yayınlanan 9 kitapta aynıdır. Bu kitaplarda problemler Galileo yasaları üzerinedir. 1880 yılında yayınlanan kitaptaki problem ve çözümünde izlenen strateji ise günümüzdeki Atwood aleti problemi ve çözmek için izlenen strateji ile benzerdir.

Tablo 3. 1784-1880 yılları arasında yayınlanan kitaplarda Atwood aleti probleminin çözümünde izlenen strateji

(Tableau 3. Stratégies de résolution de problèmes de la machine d'Atwood dans les manuels parus entre 1784 et 1880)

Kitaplar	Problem çözümünde izlenen strateji
1784-1878	(1)Galileo yasaları sayesinde verilen önermenin teorik olarak doğruluğunu göstermek
	(2)Atwood aleti düzeneğini problemde verilen verilere göre hazırlamak, deneyi ve ölçümleri gerçekleştirmek
	(3)Teorik ve deneysel sonuçları karşılaştırmak
1880	D'Alembert prensibini ve Newton'un ikinci yasasını kullanarak teorik olarak çözümü elde etmek

4.3.1. 1784-1878 Arasında Yayınlanan Kitaplarda Atwood Aleti Üzerine Problemler ve Çözümlerinde İzlenen Stratejiler (Problèmes sur la Machine d'Atwood et les Stratégies Suivies Lors de Leur Résolution Dans les Manuels Parus Entre 1784 et 1878)

1784-1878 yılları arasında yayınlanan 9 kitapta, problemler serbest düşme hareketini açıklayan yasalar (Galileo yasaları) üzerinedir ve Newton yasalarına herhangi bir atıfta bile bulunulmamıştır.

Atwood aleti serbest düşme hareketini yavaşlatıp, Galileo yasalarının daha kolay doğrulamaya izin vermektedir. Dolayısıyla, problemleri çözebilmek için önce Atwood aleti düzeneğindeki hareketin serbest düşme hareketine göre hangi oranda yavaşladığının tespit edilmesi gerekmektedir. 1784 yılında yayınlanan kitabın yazarı, bu oranın hesaplanmasında doğrudan Atwood tarafından verilen açıklamalara yer vermekte fakat bu oranın nasıl Atwood tarafından hesaplandığı hakkında bilgi vermemektedir. Şekil 2'de görülen düzenekte önce A ve B kefelere eşit miktarda yük konularak düzenekte denge sağlanmakta daha sonra herhangi bir kefeye bu yüklerden daha hafif olan ek yük konulmaktadır. Böylece üzerine ek yük konulan kefe aşağıya inmekte, diğer kefe ise yukarıya çıkmaktadır. Dolayısıyla düzenekte ki hareketin sebebi sonradan ilave edilen ek yük sayesinde açıklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle iki kefe arasındaki ağırlık farkı düzenekteki iki kefedeki toplam yükün hareketinin sebebidir. Yazar, bu katsayının hesaplanmasında makaranın ağırlığını da dikkate almıştır. Hesaplama yazıyla açıklanmış, matematiksel olarak ifade edilmemiştir. 1819-1878 yılları arasında yayınlanan 8 kitapta ise, bu oran matematiksel olarak ifade edilmiştir ve makaranın ağırlığı dikkate



alınmamıştır. Düzenekteki hareketin serbest düşme hareketine göre yavaşlama oranı α , A ve B kefelelerinin kütlesi ile makaranın kütlesi m_A, m_B, m_{makara} ile gösterilecek olursa şu ifade ele edilmiş olur:

$$\alpha = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B + m_{makara}} \quad (7)$$

Aslında yazarın aramış olduğu bu katsayı, günümüzde Atwood probleminde aranılan ve (4) denkleminde de gösterilen katsayıdır. Bu katsayı, Atwood aleti düzeneğindeki cisimlerin ivmesinin yerçekimi ivmesine olan orandır. Günümüzde elde edilen ve 1880 yılındaki kitapta istenilen değer olan bu katsayı tamamen teorik olarak elde edilmiş olup, 1784 tarihli incelemede ise deneysel olarak elde edilmiş bir sonuçtur. 1784-1878 yılları arasında yayınlanan 9 kitapta ivme kavramına rastlanılmamaktadır. Problem çözümünde harekete geçirilen kavramlar sadece hız, zaman ve yer değiştirme gibi kinematik kavramlardır.

1784-1878 yılları arasında yayınlanan kitaplardaki Atwood aleti problemi ve çözümünde izlenen stratejiye örnek olması amacıyla, 1784 tarihli kitapta bulunan bir problem ve izlenen strateji aşağıda gösterilecektir. Bu kitabın basılmış olduğu tarihlerde henüz S.I. uluslararası birim sistemi olmadığı için, yazar ağırlık ve uzunluk birimlerini metre ve gramla ifade etmemektedir. Bunların yerine ağırlık birimi olarak "ons" ve uzunluk birimi olarak "pus" kullanılmaktadır. Kitapta karşılaştığımız ilk problem şu şekildedir: "Atwood aletindeki hareket, serbest düşme hareketine göre 1/64 oranında yavaşlarsa, düşmenin ilk saniyesinde sadece 3 pus (7,62 cm) yol alınacaktır". Bu problemdeki 1/64 oranı yukarıda belirtilen α oranına karşılık gelmektedir.

Yazar tarafından izlenen ve üç aşamadan oluşan strateji aşağıda açıklanmaktadır.

- Teorik olarak önermenin ispatlanması: Yazar bu önermenin doğruluğunu saptamak için serbest düşme hareketine başvurmuştur. Bir cisim serbest düşme yapmış olsaydı, 1 saniyede 192 pus (487 cm) yol almış olacaktı. Ama hareket 1/64 oranında yavaşladığı için aynı cisim 192/64 yani 3 pus (7,62 cm) yol almış olur.
- Önermenin deneysel olarak ispatlanması: Şekil 2'de gösterilen düzenekte yer değiştirme miktarını ayarlamaya yarayan destek, ölçekli cetvel üzerinde 3 pus'a, hafif olan kefe de "0" noktasına getirilir. Düzenek serbest hale getirilince, ilk saniye sonunda kefe, 3 pus'a getirilen desteğe çarpmakta; aynı anda da saatin "tık" sesi duyulmaktadır.
- Teorik ve deneysel sonucun karşılaştırılması: Deneysel düzenekte kefenin 1 saniye sonunda 3 pus'a ayarlanan desteğe çarpması ve teorik sonuçta alacağı yolun 3 pus bulunması, Galileo yasalarını doğrulamış olmaktadır.

4.3.2. 1880 Yılındaki Kitapta Atwood Aleti Problemi Çözümü (Résolution du Problème de la Machine d'Atwood Dans le Manuel Paru en 1880)

Bu kitapta izlenen strateji, günümüzde izlenen stratejinin aynısı olup, daha önceki yıllarda izlenen stratejiyle tamamen farklı olduğunu göstermesi açısından önemlidir. İzlenen stratejide deneysel doğrulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Elde edilen teorik çözümün deneysel sonuçlarla uygun olacağı öngörülmektedir. Problem önce D'Alembert prensibiyle, daha sonra ise Newton'un ikinci yasasıyla çözülmektedir. Dolayısıyla harekete geçirilen kavramlarda günümüzdeki Atwood aleti problemini çözmek için harekete geçirilen kavramlarla aynıdır.



Kitabın yazarı, Atwood aleti probleminde M ve m kütlelerinin x_M ve x_m kadar yer değiştirme yapacağını kabul ederek, iki yer değiştirme toplamını düzenekte kullanılan ipin gergin ve esnek olmaması nedeniyle c gibi bir sabite eşit olarak yazmaktadır:

$$x_M + x_m = c \quad (8)$$

Buradan sanal yer değiştirme aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$\delta x_M + \delta x_m = 0 \quad (9)$$

Yazar daha sonra cisimlere uygulanan kuvvetleri yazmaktadır. M ve m cisimlerinin üzerine uygulanan kuvvet sadece ağırlıklarıdır ($M\vec{g}, m\vec{g}$). M ve m cisimlerinin ivmeleri, yer değiştirmeleri cinsinde yazılıp aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$(M\ddot{x}_M - Mg)\delta x_M + (m\ddot{x}_m - mg)\delta x_m = 0 \quad (10)$$

(10) denklemi, (9) denklemi kullanılarak çözülmekte ve problemin çözümü ve daha önce belirtilmiş olan (3) denklemdeki Atwood aleti probleminin çözümü elde edilmektedir.

Problem D'Alembert prensibiyle çözüldükten sonra, (2) denklemde belirtilen matematiksel ifadeler yazılarak Newton'un ikinci yasasıyla da çözülmüştür. Bu çözümde, daha önce de belirtildiği gibi, ipteki gerilme kuvvetlerinin ve cisimlerin ivmelerinin normunun eşit olduğunu kabul etmiştir. Son olarak ise, çözüm olan ifadede kütlelerin değeri 7 ve 8 olduğu takdirde hareketin serbest düşme hareketine göre 1/15 oranında yavaşladığı gösterilmektedir. Kütlelerin ifade edilmesinde birim kullanılmaması Atwood aleti düzenekinin geçirdiği evrimi göstermesi açısından önemlidir.

4.4. Mekanik Eğitiminde Karşılaşılan Paradigmalar (Paradigmes Dans L'Enseignement de la Mécanique)

4.4.1. 1784-1878 Yılları Arasında Paradigma (Paradigme Entre 1784-1878)

Düzenek Newton yasalarından bir asır sonra icat edilmesine ve matematiksel tekniklerin mekanik biliminde gelişmiş olmasına rağmen, 1784-1878 yılları arasında yayınlanan 9 kitabın yazarı öğretim üyelerinin, hâlâ Galileo yasalarının kontrolünü yaptıkları görülmektedir. Bu süre içinde yayınlanan kitaplarda tam anlamıyla Newton paradigmasından bahsetmek zordur. Bu kitaplardaki Atwood aleti incelemelerinde Newton yasalarına atıfta bile bulunulmamıştır. Problemler ve çözümleri günümüzdeki Atwood aleti problemi ve çözümünden tamamen farklıdır. Çözülen problemler Newton yasaları üzerine değil Galileo yasaları üzerinedir. Problem çözümlerinde deneysel inceleme önemli yer tutmaktadır. Dolayısıyla, bu yıllar arasında yapılan Atwood aleti incelemesinin, günümüzde kabul edilebilir bir aktivite olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu yıllar arasında "paylaşılan değerler dizisi olan" paradigma, günümüzdeki paradigma ile aynı değildir. "Niçin?" sorusunu sorarak yapılan araştırmada, cevap 1840'da yayınlanan ders kitabının önsözünde bulunmuştur.

1840 yılında yayınlanan "Üniversite Fizik Dersleri" isimli kitabın önsözünde Lamé, üniversitede fizik eğitiminin ayrı bir çerçeve içerisinde geliştirilmesi gerektiğini belirtmektedir [23]. Lamé'ye göre her şeyden önce öğrencilere olayların yasalarına götüren gözlem ve deney yöntemlerini anlatmak gerekmektedir. Böylelikle öğrenciler her fizik teorisindeki olayları daha iyi düzenleyen hipotezleri seçmeyi ve sınamayı öğrenecektir. Bunun sonucunda, mümkün olduğu takdirde tüm bilimi kapsayan genel yasa veya tek hipotez aranabilecektir. Lamé, mekanikteki bazı yasaların hala hipotezler altında olduğunu da belirtip, zamanı geldiğinde bu yasaların matematik biliminin bir parçası olacağını da belirtmektedir. Dolayısıyla 1784-



1878 yılları arasında yayınlanan 9 kitabın yazarı öğretim üyelerinin, bu anlayışı paylaştıkları görülmektedir. Bu paradigmada yasaların kullanılması sonucu öngörülen teorik sonuçlara güven, deneysel kontrollerle sınırlanmaktadır. Deney, Galileo mekaniğinde olduğu gibi önemli bir yer tutmaktadır. Henüz tam anlamıyla Newton paradigmasına geçilmemiştir. Dolayısıyla bu paradigma deneysel mekanik paradigması olarak adlandırılabilir.

4.4.2. 1880 Yılında Paradigma (Paradigme en 1880)

1880 yılında yayınlanan kitaptaki Atwood aleti incelemesi ise, mekanik biliminin deneysel bilim statüsünü kısmen kaybetmiş ve deneyle teori arasındaki bağların zayıflamış olduğunu göstermiştir. Bir düzenek sayesinde yapılan hesaplamalar, artık bir prensibi doğrulamak veya onu sınamak için yapılmamıştır. Teorik sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırma ihtiyacı kaybolmuştur. Öngörülen sonuçların, deneylerin vereceği sonuçlara uygun olacağı kabul edilmiştir. Mekanik, sadece olayları yorumlayıcı ve teori arayışları içerisinde olan bir bilim olmaktan çıkmıştır. Mekanik, Newton yasalarının matematiksel ifadelerinin kullanılarak öngörülerde bulunabilen bir bilim haline dönüşmüştür. Bu mekanik 1784 yılında Lagrange'ın belirttiği, matematiksel genel formüllerden hareketle mekanik problemlerini çözmeye yarayan analitik metottur. Bu ise günümüzdeki Atwood probleminin analizinde belirtilen Newton paradigmasına karşılık gelmektedir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR (CONCLUSION ET DISCUSSION)

Bu araştırma her şeyden önce, Atwood aletinin icat edildiği dönemde öğrencilere klasik olarak sorulan bir "konu sonu" problemi olmadığını göstermiştir. Düzenek gerçek bir bilimsel çalışmanın ürünü olup, mekanik eğitiminde meydana gelen değişikliklere tanıklık etmiştir.

Araştırmanın başlangıcında, Atwood aleti düzeneğinin Newton yasaları üzerine bir uygulama olduğu düşünülmüştü. Kuhn'un Atwood aleti üzerine söyledikleri de bu düşünceyi doğrulamaktaydı. Kuhn, Atwood aletini Newton'un ikinci yasasını doğrulamaya yönelik bir düzenek ve Newton'un *Principia* adlı eseri olmasaydı Atwood aleti ile yapılan ölçümlerin bir anlamı olmazdı şeklindeki ifadeleriyle tanıtmaktaydı. Bu düzeneğin, Galileo yasalarını doğrulamaya yönelik olarak icat edilmesini görmek ve bir kitap hariç diğer kitaplarda Newton yasalarına atıfta bile bulunulmaması şaşırtıcıdır. Yapılan araştırma, söz konusu olan değişimin sadece bahsi geçen fizik prensipleriyle ilgili bir değişim olmadığını da göstermiştir. İcat edildiği tarihten itibaren gerçekleşen değişim, mekanik eğitiminin doğasında meydana gelen bir değişikliktir. Mekanik eğitiminde paradigma değişmiştir. Bu değişim, Atwood aleti probleminin ve çözümünün evrimini de beraberinde getirmiştir.

5.1. Atwood Aletinin Geçirdiği Evrimler (Evolutions du Dispositif de la Machine D'Atwood)

İcat edildiğinde Galileo yasalarını deneysel olarak kontrol etmeye yarayan ve ayrıntılı bir konu olarak öğrencilere anlatılan deneysel düzenek, zaman içinde bir konu sonu problemi haline gelmiştir. Artık amacı da serbest düşme yasalarını kontrol etmek değil, Newton yasalarını kullanarak öngörülerde bulunabilmektir. İcadını takip eden yıllar içerisinde Atwood aleti düzeneği detaylı deneysel tasvir ve şemalarla anlatılmıştır. Yukarıda belirtilen amaç değişikliği neticesinde detaylı tasvir ve şemalar yerini problem metinlerine ve modellenmiş şemalara bırakmıştır. Düzeneğin icadını takip eden bir asır boyunca düzenek üzerine sorulan problemler,



Galileo'nun serbest düşme yasaları üzerine olan önermelerin doğruluğunu tartışmaya yöneliktir. Daha sonra ise, bu düzenek üzerine sorulan problem günümüzde rastlanılan Atwood aleti problemi halini almıştır. Sorulan soruda, Atwood aletindeki cisimlerin ivmesinin matematiksel değeri istenmektedir. Diğer bir değişiklikte problem çözümlerinde izlenen strateji ile ilgilidir. İcat edildiği dönemde problem çözümleri deneysel incelemeden bağımsız değildir. Teorik sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılıp kontrol edilmektedir. 19. yüzyılın sonlarına gelindiğinde ise teorik sonuçlara güven sorgulanmayıp, bu sonuçtan hareketle yapılan öngörüler ön plana çıkmaktadır. Sonuç olarak Atwood aletinin ders kitaplarındaki tarihsel analizinde karşılaşılan değişimlerin nedenini açıklayabilen iki paradigmayla karşılaşılmaktadır. Bu paradigmlar şunlardır:

- Deneysel büyük önem veren, yeni yasaların nasıl aranması gerektiğini gösteren ve öğreten deneysel mekanik paradigması
- Deneysel yöntemi, yasa arayışını ve yasaların doğruluğunu tartışmayı bir kenara bırakan, mevcut yasaların genel matematiksel ifadelerini kullanarak öngörülerde bulunulması gerektiğini gösteren ve öğreten Newton paradigması (analitik mekanik paradigması).

Deneysel mekanik paradigması, Atwood aletinin icadını takip eden bir asır boyunca geçerliliğini korumuştur. Daha sonra ise öngörmeye dayalı *analitik mekanik* paradigması mekanik eğitimde etkili hale gelmiştir. Bu paradigma değişimi iki nedenle açıklanabilir:

- Mekanik bilimi henüz kendi içinde gelişimi tamamlama aşamasındadır. Düzenek icadından bir asır önce, hareket yasalarının Newton tarafından açıklanmasına ve D'Alembert, Euler, Lagrange gibi bilim adamlarının bu yasaları geliştirmelerine rağmen, meydana gelen mekanik biliminin mekanik eğitiminde kabullenilmesi zaman almıştır.
- Fizik alanında diferansiyel ve integral hesap yardımıyla öngörmeye yarayan modeller gelişip, bilim adamları tarafından kabul edilmeye başlanmıştır (Örneğin Neptün gezegeni 1846 yılında matematiksel hesaplama ve modellerle keşfedilmiştir [4]).

5.2. Araştırmanın Sınırlılıkları (Limitation de Cette Recherche)

Bu araştırma, halen proje aşamasında olan ve 2010 yılına kadar tamamlanması planlanan Gallica projesi kullanılarak gerçekleştirildi. Dolayısıyla elde edilen veriler, projenin şu an için vermiş olduğu bilgilerle sınırlı kalmaktadır. Fakat özellikle, Atwood'un yaptığı çalışmanın bir nevi çevirisi olarak kabul edilebilecek olan 1784 tarihli kitap ve değişik zaman dilimlerine ait olan kitaplardan elde edilen bulgular Atwood aleti probleminin evrimini açıkça ortaya koymaya yeterli olmuştur.

Bu araştırma sonucu ortaya çıkan diğer bir gerçekte, Almanya'da yayınlanan 1880 tarihli kitabın Fransa'da yayınlanan kitaplara göre daha erken analitik mekanik paradigması içerisinde yer almasıdır. Bu sonuç Almanya'da bulunan Göttinger Dijital Kütüphane sisteminden elde edilecek olan bulgularla, iki ülke arasındaki farklılıkları daha açık olarak tartışmak için karşılaştırılabilir. Özellikle de İngiltere olarak İngiltere'de yayınlanmış eski ders kitaplarının Google Dijital Kütüphanesi yardımıyla bulunmasıyla, bu araştırmanın sonuçları zenginleştirilebilir. Başka bir çalışmada, bahsi geçen yıllar arasında üniversite ve lise düzeyindeki matematik ve fizik ders programları incelenip, mekanik eğitiminde gerçekleşen bu paradigma değişimi ve mekanik eğitiminin evrimi üzerine daha detaylı bir inceleme yapılabilir.

5.3. Eğitimsel Çıkarımlar

(Inférences sur L'Enseignement Actuelle de la Mécanique)

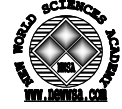
Atwood aleti problemi gibi mekanik eğitiminde klasik olarak karşılaşılan ve bazı araştırmacılar tarafından eleştirilen problemlerin, mekanik eğitiminde meydana gelen paradigma değişikliğinde ortaya çıktığı bu araştırma sonucunda görülmüştür. Bu paradigma değişiminin günümüzdeki problem çözümleri üzerine üç etkisinden bahsedilebilir. Bu üç etki aynı zamanda niçin fizik eğitiminde problemler çözüldüğünü ve özellikle öğrencilerin problem çözüme stillerinden kaynaklanan bazı zorluklarını da açıklamaktadır. Bu etkiler:

- Mekanik eğitiminde problem çözümlerine yüklenen amacın değişmesi,
- Problem çözümlerinin deneysel incelemeden bağımsız hale gelmesi,
- Problem çözümünde izlenecek yöntemin ve stratejinin paradigma tarafından belirlenmesidir.

Mekanik eğitiminde problem çözümlerine yüklenen amacın değişmesi sonucu, problemler yasaları kontrol etmek için değil; matematiksel olarak ifade edilen yasa ve prensipleri kullanarak deneyler yapmadan öngörülerde bulunmayı sağlamıştır. Dolayısıyla öğretmen ve öğrenciler, problem çözümlerinde ister istemez fizik prensiplerinin matematiksel ifadelerine bir ayrıcalık katmaktadırlar. Birçok öğretmen ve öğrenci çözümleri, fizik yasalarının verilen problem için yazılmasından ibarettir. Bu tür çözümler, yasaı uygulayabilmek için gerekli olan ön incelemeden de yoksundur. Bu tespitler ise birçok araştırmacı tarafından ortaya konulan bir gerçektir [13, 16, 24, 27 ve 32]. "Fizik yasasının genel ifadesini verilen problem için yazmak" bir amaç değil sadece bir araçtır. Buradan hareketle fizik eğitiminde, problem çözerken asıl amacın deneysel bir yöntem izlemeden de öngörülerde bulunulabileceğinin altının çizilmesi gerekmektedir.

Deneysel incelemenin problem çözümlerinde kontrol statüsünü kaybetmesi, özellikle öğrenci açısından bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Elde edilen bir matematiksel ifadenin yani çözümün deneysel olarak kontrolü her zaman mümkün olmamaktadır. Örneğin Atwood aleti problemini çözen bir öğrenci cisimlerin ivmesini $a=2g$ olarak bulabilmektedir [33]. Öğrenci için problemi çözmek demek, yasanın matematiksel ifadesini kullanıp, istenilen bilinmeyeni bir denklemle ifade etmeye eşdeğer hale gelmiştir. Bu yukarıdaki örnekte de görülmektedir. Serbest düşme hareketini yavaşlatmak için icat edilmiş düzenek, öğrencinin çözümüne göre serbest düşme hareketini iki kat daha hızlandırmaktadır. Bu sebepten dolayı problem çözümlerinde, istenilen fiziksel büyüklüğün değerinin matematiksel ifadesinin elde edilmesiyle çözüm bitirilmemeli; elde edilen çözümün ne ifade ettiği mutlaka tartışılmalıdır.

Meydana gelen paradigma değişimi, problem çözümlerinde izlenecek stratejiyi de açıkça belirlemiştir. İzlenilecek strateji bu araştırma içinde birçok yerde tekrar edilen, fizik yasalarının verilen problem için yazılarak çözüme ulaşılmasıdır. Fakat Atwood aleti probleminin çözümünde Newton'un ikinci yasasının kullanılmasının yanında, ipteki gerilme kuvvetlerinin ve cisimlerin ivmelerinin normunun eşit kabul edilmesi gibi bir yaklaşımda bulunmaktadır. Bu eşitlikler, fizik yasaları kullanılarak ispat edilebilmektedir. İçinde bulunulan paradigmada doğru olanda budur. Fakat çözümün öğretmenler tarafından basitleştirilmek istenmesi ve öğrencilerin gerekli fizik yasalarını öğrenmemiş olmaları bunu gerçekleştirmeye engel teşkil etmektedir. Öğretmenlerin ve öğrencilerin bu problemi çözerken izledikleri stratejilerde zorluklar yaşadığı tespit edilmiştir. Bu konu hakkındaki sonuçlar, başka bir çalışmada daha detaylı olarak tartışılacaktır.



KAYNAKLAR (BIBLIOGRAPHIE)

1. Çalışkan, S., Selçuk, G.S. ve Erol, M., (2006). Fizik öğretmen adaylarının problem çözme davranışlarının değerlendirilmesi. H.Ü. Eğitim Fakültesi Dergisi (H.U. Journal of Education), Sayı:30, ss:73-81.
2. Balibar, F., (1984). Galilée, Newton lus par Einstein-Espace et relativité., Paris: Presses Universitaires de France-PUF.
3. Blay, M., (1995). Les "Principia" de Newton. Paris: Presses Universitaires de France-PUF.
4. Brahic A., (2006). Neptune. *Encyclopedia Universalis*. Paris: Encyclopædia Universalis France S.A., <<http://www.universalis.fr/encyclopedie/C000133/NEPTUNE.htm>> (25.12.2007)
5. Chalmers, A.F., (1982). Qu'est-ce que la science ? Paris: La Découverte.
6. Chevallard, Y., (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique n°:12, n°1,. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Cilt:12, Sayı:1, ss:73-112.
7. Daguin, P.-A., (1865). Cours de physique élémentaire : avec les applications à la météorologie : à l'usage des lycées et des établissements d'instruction secondaire. Toulouse: Edouard Privat, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k28774s>> (24.12.2007).
8. D'Alembert, J., (1758). *Traité de dynamique*. Paris: Jacques Gabay.
9. De Gandt, F., (1995). DE LA GRAVITATION suivi de DU MOUVEMENT DES CORPS. trad. du latin par Marie-Françoise Biarnais et François de Gandt. Présentation et, pour Du mouvement des corps, commentaires de François de Gandt. Paris: Gallimard.
10. Delaunay, C., (1852). Cours élémentaire de mécanique théorique et appliquée. Paris: Victor Mason, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k99708p>> (24.12.2007).
11. Desains, P., (1857). Leçons de physique . Tome premier. Paris: Dezobry, E. Magdeleine et Cie, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k95084w>> (24.12.2007).
12. Musée d'histoire des sciences de Genève, (2007). Euler, l'imagination souveraine, <http://www.ville-ge.ch/culture/mhs/pannEuler.pdf>, (24.12.2007)
13. Dumas-Carré, A. et Goffard, M., (1997). Rénover les activités de résolution de problèmes en physique. Paris: Armand Colin/Masson.
14. Fischer, E.G., (1819). *Physique mécanique*. Paris: Courcier, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k28738x>> (24.12.2007) .
15. Ganot, A., (1876). *Traité de physique expérimentale et appliquée et de météorologie*. Paris: Auteur-Editeur, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k95086k>> (24.12.2007).
16. Heller, P., Keith R., et Andersonand, S., (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. part 1.group versus individual problem solving. *Am. J. Phys.*, Sayı:60, ss:627-636.
17. Patricia, H., (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. part 2: Designing problems and structuring groups. *Am. J. Phys.*, Sayı: 60, ss:637-644.
18. Jamin, J.-C., (1858). Cours de physique de l'Ecole Polytechnique. Tome premier. Paris: Mallet-Bachelier, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94946k>> (24.12.2007).
19. Jamin, J.-C., (1878). Cours de physique de l'Ecole Polytechnique. Tome premier, Instruments de mesure-



- hydrostatique. Paris: Gauthier-Villars, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k772506>> (24.12.2007).
20. Koyré, A., (2001). Etudes Galiléennes. Paris: Hermann, 2001.
 21. Kuhn, T.S., (1996). The Structure of Scientific Revolutions. University Of Chicago Press.
 22. Lagrange, J.-L., (1787). Mécanique analytique. Paris: Jacques Gabay.
 23. Lamé, G., (1840). Cours de physique de l'Ecole Polytechnique . Tome premier, Propriétés générales des corps-Théorie physique de la chaleur. Paris: Bachelier, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94965v>> (24.12.2007)
 24. Leonard, W.J., Gerace, W.J., et Dufresne R.J., (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. Am. J. Phys., Sayı:64, ss:1495-150.
 25. Mach, E., (1904). La mécanique : exposé historique et critique de son développement. Paris: Hermann.
 26. Department of Physics and Astronomy-Georgia State University, (2007). *Hyperphysics-Atwood's Machine*. Georgia State University, <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atwd.html>> (25.12.2007)
 27. Reif, F., (1983). Understanding and teaching problem-solving in physics. In Research on Physics Education : Proceedings of the First International Workshop, June 26-July 13, La Londe les Maures.
 28. Reif, F., (1995). Millikan lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. Am. J. Phys., Sayı:63, ss:17-32.
 29. Rumelhard, G., (2005). Problématisation et concept de paradigme approche épistémologique, psychologique, sociologique. ASTER, Sayı:40, ss:205-223.
 30. Schell, W., (1880). Theorie der Bewegung und der Kräfte ein Lehrbuch der theoretischen Mechanik. Leipzig: B.G. Teubner, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k99720j>> (24.12.2007).
 31. Sigault de la Fond J.-A., (1784). Description et usage d'un cabinet de physique expérimentale. tome premier, Paris: GUEFFIER, <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k95053m>> (24.12.2007) .
 32. VanLehn, K., (1996). Conceptual and meta learning during coached problem solving. In Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Tutoring Systems ITS'96.
 33. Yavuz, A., (2007). Stratégie de résolution d'exercice en mécanique du point matériel. Stratégie des enseignants et difficultés des étudiants de la première année universitaire: Exemple du problème de la machine d'Atwood. Thèse de Doctorat non publiée, Grenoble-France: Université Josph Fourier-Grenoble 1.