

Ενσωμάτωση της τεχνολογίας των CRS στη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής

Πιερράτος Θεόδωρος¹, Κολτσάκης Ευάγγελος², Πολάτογλου Χαρίτων³

¹ Καθηγητής Φυσικής, 2^ο Γενικό Λύκειο Εχεδώρου
pierratos@gmail.com

² Καθηγητής Φυσικής, Καλλιτεχνικό Γυμνάσιο Αμπελοκήπων
ekoltsakis@gmail.com

³ Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Φυσικής, ΑΠΘ
hariton@physics.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα τηλεκαταγραφής εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων (*Classroom Response Systems - clickers*) αποτελούν εκπαιδευτική τεχνολογία αιχμής, η οποία πλέον χρησιμοποιείται ευρέως σε εκπαιδευτικά ιδρύματα του εξωτερικού, όχι όμως και στην Ελλάδα. Με σκοπό την αναζήτηση παιδαγωγικά ορθών τρόπων ένταξής τους στη διδασκαλία της Φυσικής σε όλες τις βαθμίδες του Ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος, έχουμε πραγματοποιήσει τα τελευταία δύο χρόνια πιλοτικές εφαρμογές αξιοποίησής τους, τόσο στην τριτοβάθμια όσο και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Κατά τη διάρκεια του *workshop*, αφού παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των κλικερς που καθιστούν τη χρήση τους διδακτικά ελκυστική, θα χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη ενός εκπαιδευτικού σεναρίου που στοχεύει στην εισαγωγή των μαθητών στον 1^ο νόμο του Νεύτωνα, μέσα από στοχευμένες ομαδοσυνεργατικές δραστηριότητες εποικοδομητικού χαρακτήρα..

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κλικερς, ενεργά μαθησιακά περιβάλλοντα, 1^{ος} νόμος του Νεύτωνα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κοινωνική συνιστώσα της μάθησης έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, μέσα από προσπάθειες για τη βελτίωση της παρεχόμενης εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες. Οι παραδοσιακές διαλέξεις, οι οποίες υιοθετούνται από την πλειονότητα των διδασκόντων στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση, βασίζονται συνήθως στη μονόδρομη επικοινωνία διδάσκοντος– διδασκόμενου. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στην παραδοχή ότι οι μαθητές είναι ικανοί να προσλαμβάνουν την παρεχόμενη πληροφορία και να την ενσωματώσουν στο σύνολο των γνώσεών τους, υπερβαίνοντας τις γνωστικές συγκρούσεις μεταξύ όσων καταλαβαίνουν και πιστεύουν και των νέων γνώσεων στις οποίες εκτίθενται. Ελάχιστοι ωστόσο μαθητές είναι ικανοί να κάνουν κάτι τέτοιο (National Research Council [NRC], 2000; Novak, 2002).

Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διδακτικών προσεγγίσεων που αυξάνουν τη συχνότητα και την ποιότητα των αλληλεπιδράσεων κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, όπως είναι η «διδασκαλία μεταξύ ομοτίμων» (*peer instruction*) (Mazur, 1997; Crouch & Mazur, 2001; Mazur, 2009) και την προώθηση ομαδοσυνεργατικών δραστηριοτήτων που εμπλέκουν ενεργά το σύνολο των μαθητών (Hake, 1998; Lazarowitz & Hertz-Lazarowitz, 1998; Σταυρίδου, 2000). Κοινός σκοπός όλων αυτών είναι η ενεργοποίηση των μαθητών και η αύξηση του ενδιαφέροντος για τις φυσικές επιστήμες, η ανάπτυξη συνεργατικού πνεύματος των μαθητών και η βαθύτερη κατανόηση των εννοιών των φυσικών επιστημών (Prince, 2004).

Στις διδακτικές προσεγγίσεις που επιχειρούνται, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η σύγχρονη εκπαιδευτική τεχνολογία, παρέχοντας αυξημένες δυνατότητες επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης αλλά και εξατομίκευσης της μαθησιακής διαδικασίας. Μία τέτοια τεχνολογία συνιστούν και τα συστήματα τηλεκαταγραφής εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων (*Classroom Response Systems - CRS*) ή «κλικερς», όπως αλλιώς ονομάζονται. Τα κλικερς έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη από το 1998 στα Αμερικανικά Πανεπιστήμια για να βελτιώσουν την αλληλεπίδραση, την εμπλοκή και την προσοχή των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία (Draper & Brown, 2004), να αυξήσουν την παρουσία τους στις πανεπιστημιακές διαλέξεις, να προκαλέσουν συζητήσεις μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας μεταξύ των φοιτητών, να παράσχουν ανάδραση τόσο στους φοιτητές όσο και στους διδάσκοντες με σκοπό να βελτιώσουν τη διδασκαλία (Caldwell, 2007), αλλά και να βελτιώσουν τη μαθησιακή διαδικασία (El-

Rady, 2006). Ταυτόχρονα, επιχειρήθηκε να συνδράμει η χρήση τους στη δημιουργία ενεργού περιβάλλοντος μάθησης (Bruff, 2009).

Στην Ελλάδα, αυτά τα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο ενθάρρυνσης της διδασκαλίας μεταξύ ομότιμων σε εργαστηριακά μαθήματα φυσικής πρωτοετών φοιτητών, αλλά και για την υποστήριξη εκπαιδευτικών σεναρίων διδασκαλίας εννοιών της φυσικής στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Πιερράτος κ.α., 2010). Τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών στην Ελλάδα δείχνουν ότι η χρήση των κλίκερς ενεργοποιεί όλους τους μαθητές, προκαλεί ιδιαίτερα αποδοτικές διδακτικά συζητήσεις στην τάξη και οδηγεί στην αναδόμηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών, σε μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι μια τυπική παραδοσιακή διδασκαλία (Πιερράτος & Πολάτογλου 2010).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΛΙΚΕΡΣ

Τα κλίκερς είναι εξειδικευμένοι υπολογιστές παλάμης με δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας με έναν σταθμό βάσης (πομποδέκτη). Ο σταθμός βάσης συλλέγει τα δεδομένα και τα μεταφέρει σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή με τον οποίο είναι συνδεδεμένος μέσω θύρας USB. Κάθε μονάδα (κλίκερ) αναγνωρίζεται από το σύστημα μέσω ενός αριθμού ταυτότητας που της αντιστοιχεί. Ανάλογα με τον τύπο της συσκευής, κάθε μαθητής ή ομάδα μαθητών ή/και όλοι οι μαθητές μπορούν να δέχονται συγκεκριμένες ερωτήσεις (τις ίδιες ή διαφορετικές ανά μαθητή ή ανά ομάδα) στην οθόνη της συσκευής τους, να απαντούν στέλνοντας κείμενο (με λατινικούς χαρακτήρες), αριθμητικά αποτελέσματα, απαντήσεις σε ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, απαντήσεις τύπου Σωστό – Λάθος και απαντήσεις ακολουθίας («να βάλετε στη σωστή σειρά»). Οι μαθητές πληροφορούνται άμεσα ότι η απάντησή τους καταχωρήθηκε, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να ενημερώνονται αν έχουν απαντήσει σωστά ή λανθασμένα (ανάδραση μαθητών). Μέσω ειδικού λογισμικού, που συνεργάζεται με λογισμικά παρουσιάσεων, είναι δυνατό, αμέσως μετά την αποστολή των απαντήσεων από όλους τους μαθητές, να παρουσιαστούν στατιστικά στοιχεία για τις απαντήσεις που δόθηκαν. Τα στοιχεία αυτά είναι δυνατό να προβάλλονται σε όλη την τάξη με τη βοήθεια προβολικού συστήματος.

Τα κλίκερς αποτελούν μια εκπαιδευτική τεχνολογία αιχμής η οποία μπορεί να εμπλέξει ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία το σύνολο των μαθητών. Όμως, όπως κάθε τεχνολογία, είναι ανεπαρκής να παράσχει ουσιαστικά μαθησιακά οφέλη αν δεν αξιοποιηθεί παιδαγωγικά ορθά. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αξιοποίησης των κλίκερς είναι η διδακτική μεθοδολογία που είναι γνωστή ως διδασκαλία μεταξύ ομότιμων, η οποία έχει εφαρμοστεί με επιτυχία τόσο σε Πανεπιστήμια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής όσο και άλλων χωρών του εξωτερικού (Fagan, Crouch & Mazur 2002).

Σύμφωνα με τη διδακτική προσέγγιση, ο διδάσκων θέτει μία ερώτηση εννοιολογικού περιεχομένου την οποία απαντάει κάθε μαθητής μόνος του. Κατά περίπτωση, ο διδάσκων προβάλλει ή όχι την κατανομή των απαντήσεων των μαθητών αμέσως μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας αποστολής των απαντήσεων από τους μαθητές (παροχή ανάδρασης) και στη συνέχεια ζητείται από τους μαθητές να συσχεφθούν σε ομάδες των 2-4 ατόμων, προσπαθώντας να υπερασπιστούν την άποψή τους και να πείσουν για την ακρίβειά της τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας. Μετά από μερικά λεπτά οι μαθητές απαντούν και πάλι στην ίδια ερώτηση. Ο διδάσκων αποκαλύπτει τη νέα κατανομή των απαντήσεων των μαθητών και ζητά από εκπροσώπους των διάφορων απαντήσεων να τεκμηριώσουν τις απόψεις τους και να δικαιολογήσουν την επιλογή τους. Στο τέλος αποκαλύπτεται από το διδάσκοντα η σωστή απάντηση και η διαδικασία συνεχίζεται με την επόμενη ερώτηση. Με αυτόν τον τρόπο καταργείται ουσιαστικά η κλασική δασκαλοκεντρική διδασκαλία υπό μορφή διαλέξεων.

Προσπαθώντας να αποτιμήσουμε τη δυνατότητα ενσωμάτωσης της παραπάνω διδακτικής μεθοδολογίας στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, επιχειρήσαμε τα τελευταία δύο χρόνια διδακτικές παρεμβάσεις τόσο στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Β' και Γ' Γυμνασίου, Α' και Β' Λυκείου) όσο και στην τριτοβάθμια εκπαίδευση (Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ.). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής έχουν δημοσιευθεί και παρουσιαστεί εκτενώς (Πιερράτος & Πολάτογλου, 2010; Πιερράτος κ.α., 2010). Η διαφοροποίηση της προσέγγισής μας έγκειται στην εστίαση στην παιδαγωγικά ορθή διαχείριση των κλίκερς και στην αξιοποίηση των πορισμάτων της έρευνας στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Έτσι, δημιουργήθηκαν διάφορα εκπαιδευτικά σεναρία για τη διδασκαλία διάφορων εννοιών της Φυσικής, στα οποία η χρήση των κλίκερς είχε ως στόχους:

1. Να ανιχνεύσει μέσω διαγνωστικών ερωτήσεων στην αρχή του μαθήματος τη γνωστική αφετηρία και τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών.

2. Να εμπλέξει στην εκπαιδευτική διαδικασία κατά τη διάρκεια του μαθήματος όλους τους μαθητές μέσω ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής ή Σωστό/Λάθος.
3. Να καταγράφει την εξέλιξη στο χρόνο της κατανόησης εννοιών κλειδιά για όλους τους μαθητές, θέτοντας την ίδια ερώτηση σε διάφορα στάδια της διδασκαλίας.
4. Να προωθήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ των μαθητών μέσω της υιοθέτησης στοιχείων της διδασκαλίας μεταξύ ομότιμων.
5. Να παράσχει διαμορφωτική αξιολόγηση στο διδάσκοντα αλλά και στους μαθητές για το τρέχον επίπεδο κατανόησης κάποιας έννοιας, ώστε ο μεν διδάσκων αν θεωρήσει σκόπιμο να μπορεί να επαναπροσδιορίσει τη διδακτική του μεθοδολογία, οι δε μαθητές να προσδιορίζουν την επίτευξη εκ μέρους τους των διδακτικών στόχων.
6. Να αποτυπώσει τον τρόπο σκέψης όλων των μαθητών προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες τόσο σε γνωστικό όσο και σε μεταγνωστικό επίπεδο.

Παράδειγμα ενός τέτοιου εκπαιδευτικού σεναρίου αποτελεί το σενάριο που ακολουθεί και που αφορά στη διδασκαλία του 1^{ου} νόμου του Νεύτωνα.

ΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

Το συγκεκριμένο σενάριο επιχειρεί την επιδίωξη διδακτικών στόχων του Αναλυτικού Προγράμματος Σπουδών της Φυσικής Β΄ Γυμνασίου, καθώς, με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, και της Φυσικής Α΄ Λυκείου. Επιχειρεί, με τη βοήθεια των Τ.Π.Ε. και της αλληλεπίδρασης των μαθητών, να βοηθήσει στη μελέτη του 1^{ου} νόμου του Νεύτωνα και στην προσπάθεια για τη μετάβαση των μαθητών από την αριστοτελική θεώρηση για την κίνηση με σταθερή ταχύτητα, στη Νευτώνεια θεώρηση. Αξιοποιεί δε, μέσω βίντεο, εργαστηριακές δραστηριότητες που δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν στο σχολικό εργαστήριο φυσικών επιστημών και στην επιφάνεια της Γης, γενικότερα (Πιερράτος & Πολάτογλου, 2009).

Μέσω του προτεινόμενου σεναρίου επιχειρείται, διατυπώνοντας υποθέσεις με βάση τις πρακτικο-βιωματικές τους ιδέες και ελέγχοντάς τις, οι μαθητές να φτάσουν είτε σε επιβεβαίωση της θεωρίας τους είτε σε γνωστική σύγκρουση (στην περίπτωση της διάψευσης) και επομένως να αναγνωρίσουν την ανάγκη αλλαγής της θεωρίας τους. Επομένως, αυτό το σχήμα μπορεί να αποτελέσει πολύ χρήσιμο διδακτικό εργαλείο στο πλαίσιο της εποικοδομητικής διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Παράλληλα, επιδιώκεται η ομαδοσυνεργατική διδασκαλία, μέσω της δημιουργίας ομάδων, που σε κάθε μια τα μέλη της, συζητώντας και αλληλεπιδρώντας, προσπαθούν προβλέψουν και να εξηγήσουν την εξέλιξη των υπό μελέτη φυσικών φαινομένων.

Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι τόσο συντονιστικός, συμβουλευτικός και διαμεσολαβητικός, όσο και άμεσος και σημαντικός. Ο εκπαιδευτικός επεμβαίνει σε τεχνικά κυρίως ζητήματα και σε όσα σημεία κρίνει απαραίτητο για να προκαλέσει συζήτηση ή για να δώσει επιπλέον οδηγίες και πληροφορίες. Αξιοποιεί τις δυνατότητες των Τ.Π.Ε. για να σχεδιάσει, να οργανώσει, να επεξεργαστεί και να αναλύσει τα δεδομένα του θέματος που εξετάζει μαζί με τους μαθητές, στο πλαίσιο μια ενεργητικής και ομαδοσυνεργατικής διδακτικής διαδικασίας.

Οι μαθητές, ως αυτόνομοι οργανισμοί, βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση με το περιβάλλον τους, ενώ οι μορφές επικοινωνίας και οι μορφές αλληλεξάρτησης μεταξύ εκπαιδευτικού και μαθητών, επηρεάζουν την ανάπτυξη και διαμόρφωση των διδακτικών αντιλήψεων και των πρακτικών που ακολουθούνται. Η επικοινωνία εκπαιδευτικού - μαθητών δεν εξυπηρετεί τη «μεταφορά» γνώσεων μέσω της τεχνολογίας από τον εκπαιδευτικό στο μαθητή, αλλά επιτρέπει τη γνωστική επεξεργασία μέσω των δυνατοτήτων που η ίδια η τεχνολογία παρέχει στην ανάλυση και την (ανα)κατασκευή των νέων εννοιών.

Το εκπαιδευτικό σενάριο έχει συμπεριληφθεί στο επιμορφωτικό υλικό του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου (Κολτσάκης & Πιερράτος, 2010), ενώ έχει εφαρμοστεί σε πραγματικές τάξεις με ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα ως προς την ενεργοποίηση των μαθητών και την αναδόμηση των εναλλακτικών τους ιδεών.

ΣΧΟΛΙΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Πέρα από το εκπαιδευτικό σενάριο που θα παρουσιαστεί στο workshop, έχουν ήδη αναπτυχθεί και εφαρμοστεί, σε πραγματικές τάξεις, προγράμματα που αφορούν σε έννοιες της φυσικής που διατρέχουν το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών. Μελλοντικός στόχος είναι η αναδιαμόρφωση αυτών των σεναρίων μέσα από την ανάδραση που προσφέρει η εφαρμογή τους, ώστε να καταστούν ακόμη αποτελεσματικότερα. Επιπλέον, σχεδιάζονται εναλλακτικά εκπαιδευτικά σενάρια για τις ίδιες έννοιες,

τα οποία υιοθετούν διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις από τις τρέχουσες, με σκοπό την ανάδειξη της πιο πρόσφορης διδακτικά μεθόδου και ταυτόχρονα την παροχή επιλογών στους εκπαιδευτικούς που θα τα εφαρμόσουν ανάλογα με τους διδακτικούς τους στόχους και το επίπεδο των μαθητών που απευθύνονται.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Κολτσάκης Ε., Πιερράτος Θ., (2010). Διδασκαλία του 1ου νόμου του Νεύτωνα. Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Επιμόρφωση των Εκπαιδευτικών για την Αξιοποίηση και Εφαρμογή των ΤΠΕ στη Διδακτική Πράξη» του Ε.Π. «Εκπαίδευση και δια βίου μάθηση» «Ο Διαδραστικός Πίνακας στο Σχολείο: Παιδαγωγικές προσεγγίσεις - Διδακτικές Εφαρμογές», σελ. 60-69.
2. Πιερράτος Θ., Ευαγγελινός Δ., Πολάτογλου Χ., Βαλασιάδης Οδ., (2010). Αξιολόγηση Εκπαιδευτικών Δραστηριοτήτων και διδασκαλία μεταξύ ομότιμων με χρήση συστημάτων τηλεκαταγραφής. Πρακτικά του 13ου Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΕΦ, ISBN 978-060-9457-00-2.
3. Πιερράτος, Θ., Πολάτογλου, Χ. (2009). Η διδασκαλία του πρώτου νόμου του Νεύτωνα με την αξιοποίηση εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιήθηκαν στο Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, στο Καριώτογλου, Π. Σπύρτου, Α., Ζουπίδης, Α., Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών. Θεσσαλονίκη: Γράφημα.
4. Πιερράτος, Θ., Πολάτογλου, Χ.. (2010). Τα συστήματα τηλεκαταγραφής εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων ως εργαλεία ανατροφοδότησης της διδασκαλίας: μπορούν να υποστηρίξουν την προτυποποίηση της διαμορφωτικής αξιολόγησης της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών;. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου για την Τυποποίηση, τα Πρότυπα και την Ποιότητα. Θεσσαλονίκη 19-20 Νοεμβρίου 2010 (Υπό έκδοση).
5. Σταυρίδου Ε., (2000), Συνεργατική μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες: Μία εφαρμογή στο δημοτικό σχολείο. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
6. Bruff, D. (2009). Teaching with classroom response systems: Creating active learning environments. San Francisco: Jossey-Bass
7. Caldwell, J. E. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. Life Sciences Education, 6(1), 9–20.
8. Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. American Journal of Physics, 69(9), 970–977
9. Draper, S. W., & Brown, M. I. (2004). Increasing interactivity in lectures using an electronic voting system. Journal of Computer Assisted Learning, 20(2), 81–94.
10. El-Rady, J. (2006). To click or not to click: That's the question. Innovate Journal of Online Education, 2(4). <<http://www.innovateonline.info/index.php?view=article&id=171>.
11. Fagan, A. P., Crouch, C. H., & Mazur, E. (2002). Peer instruction: Results from a range of classrooms. The Physics Teacher, 40(4), 206–209.
12. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics text data for introductory physics courses. American Journal of Physics, 66(1), 64–74.
13. Lazarowitz, R., & Hertz-Lazarowitz, R. (1998). Cooperative learning in the science curriculum. In B. J. Fraser & K.G. Tobin (eds) International Handbook of science Education. Kluwer Academic publishers, pp. 449-469.
14. Mazur, E. (1997). Peer instruction A Users Manual Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
15. Mazur, E. (2009). Farewell, lecture? Science, 323(5910), 50-51
16. National Research Council (2000). How People Learn: Brain, Mind Experience, and School. Washington, DC: National Academies Press.
17. Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. Sci. Educ. 86, 548–571.
18. Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. J. Engr. Education, 93(3), 223-231. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: http://www.ncsu.edu/felder-public/Papers/Prince_AL.pdf