

## 14.1 Εισαγωγή

Το 1908, τρία χρόνια μετά από τη δημοσίευση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας από τον Einstein, ο μαθηματικός Hermann Minkowski παρουσίασε μια γεωμετρική διατύπωση των ιδεών του Einstein, βασιζόμενος στην έννοια μιας τετραδιάστατης πολλαπλότητας (manifold) που ονόμασε «χωροχρόνο» (spacetime). Το συμπέρασμα του Minkowski είναι πολύ γνωστό: «Από εδώ και στο εξής, ο χώρος από μόνος του και ο χρόνος από μόνος του είναι καταδικασμένοι να ξεθωριάσουν και να γίνουν απλές σκιές· μόνο κάποια μορφή ένωσης των δύο θα διατηρήσει την ανεξάρτητη πραγματικότητα.» Ο ισχυρισμός του μπορεί να είναι λίγο υπερβολικός—συνεχίζουμε να κινούμαστε ελεύθερα σε έναν τριδιάστατο κόσμο, ενώ παράλληλα παρασυρόμαστε ασταμάτητα προς τα εμπρός στον χρόνο—αλλά η άποψή του υπήρξε ανεκτίμητη στην επέκταση των εννοιών της σχετικότητας σε άλλους τομείς της φυσικής.

Η ειδική σχετικότητα παρέχει μια μεθοδική διαδικασία για τη συσχέτιση των συντεταγμένων από γεγονότα που καταγράφηκαν από παρατηρητές σε διαφορετικά αδρανειακά συστήματα. Τα βασικά στοιχεία της θεωρίας περιέχονται στον μετασχηματισμό Lorentz. Για να θέσουμε το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κατανοήσουμε την περιγραφή αυτού του μετασχηματισμού μέσω της έννοιας του χωροχρόνου του Minkowski, θα δούμε συνοπτικά πώς μετασχηματίζονται τα διανύσματα στη νευτώνεια φυσική.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Vulputate dignissim suspendisse in est ante in nibh. Diam maecenas sed enim ut sem viverra aliquet eget sit. Feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Viverra suspendisse potenti nullam ac tortor vitae purus faucibus. Iaculis eu non diam phasellus vestibulum lorem sed risus. Nec ullamcorper sit amet risus nullam eget felis. Elementum tempus egestas sed sed risus. Sit amet nisl suscipit adipiscing. Nibh cras pulvinar mattis nunc. Curabitur vitae nunc sed velit dignissim sodales ut eu sem. Tristique senectus et netus et malesuada fames.

Elit eget gravida cum sociis natoque penatibus. Mauris vitae ultricies leo integer. Eget mi proin sed libero enim sed. Urna dui convallis convallis tellus id interdum velit laoreet id. Odio facilisis mauris sit amet. Etiam tempor orci eu lobortis elementum. Sit amet justo donec enim diam. Velit egestas dui id ornare. Porttitor eget dolor morbi non arcu risus quis varius. Dolor morbi non arcu risus quis. Urna condimentum mattis pellentesque id nibh tortor id. Quis eleifend quam adipiscing vitae proin sagittis. Lectus sit amet est placerat in egestas. At auctor urna nunc id cursus metus. Amet consectetur adipiscing elit pellentesque habitant morbi tristique senectus. Sagittis id consectetur purus ut faucibus pulvinar elementum. Placerat dui ultricies lacus sed turpis tincidunt id aliquet risus. Lectus nulla at volutpat diam ut venenatis. Scelerisque purus semper eget dui at tellus at. Dictum non consectetur a erat.

Massa vitae tortor condimentum lacinia quis vel eros. Nec dui nunc mattis enim ut tellus elementum sagittis vitae. Enim nunc faucibus a pellentesque sit amet porttitor eget. Urna nec tincidunt praesent semper feugiat. Elit eget gravida cum sociis. Mollis nunc sed id semper risus in hendrerit gravida. Eu consequat ac felis donec et odio. Vulputate sapien nec sagittis aliquam malesuada bibendum. Dolor magna eget est lorem. Dictumst quisque sagittis purus sit amet. Et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Odio eu feugiat pretium nibh. Ullamcorper morbi tincidunt ornare massa eget egestas purus. Ut eu sem integer vitae. Eros donec ac odio tempor orci dapibus.

Etiam non quam lacus suspendisse. Sollicitudin aliquam ultrices sagittis orci a scelerisque. Arcu cursus vitae congue mauris rhoncus. Ipsum dolor sit amet consectetur. Convallis a cras semper auctor neque vitae tempus quam. Morbi enim nunc faucibus a. Lacus luctus accumsan tortor posuere ac ut consequat semper viverra. Fermentum et sollicitudin ac orci phasellus egestas tellus. Etiam erat velit scelerisque in dictum non consectetur a erat. Pretium vulputate sapien nec sagittis aliquam. Quam adipiscing vitae proin sagittis. Sagittis orci a scelerisque purus semper eget dui. Placerat vestibulum lectus mauris ultrices eros in cursus. Leo in vitae turpis massa sed elementum tempus egestas. Sapien nec sagittis aliquam malesuada bibendum arcu vitae. Nunc pulvinar sapien et ligula ullamcorper malesuada proin libero nunc. Semper risus in hendrerit gravida rutrum quisque. In hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor.

Vestibulum sed arcu non odio. Eget velit aliquet sagittis id. Sed faucibus turpis in eu mi bibendum neque egestas congue. Diam phasellus vestibulum lorem sed risus ultricies tristique nulla. Quis imperdiet massa tincidunt nunc pulvinar sapien et. Pretium vulputate sapien nec sagittis. Urna condimentum mattis pellentesque id nibh tortor. Massa placerat dui ultricies lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Et tortor consequat id porta nibh venenatis cras sed felis. Lectus mauris ultrices eros in cursus turpis massa. Condimentum id venenatis a condimentum vitae sapien. Cras ornare arcu dui vivamus arcu felis bibendum. Auctor eu augue ut lectus arcu bibendum at varius.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Vulputate dignissim suspendisse in est ante in nibh. Diam maecenas sed enim ut sem viverra aliquet eget sit. Feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Viverra suspendisse potenti nullam ac tortor vitae purus faucibus. Iaculis eu non diam phasellus vestibulum lorem sed risus. Nec ullamcorper sit amet risus nullam eget felis. Elementum tempus egestas sed sed risus. Sit amet nisl suscipit adipiscing. Nibh cras pulvinar mattis nunc. Curabitur vitae nunc sed velit dignissim sodales ut eu sem. Tristique senectus et netus et malesuada fames.

Elit eget gravida cum sociis natoque penatibus. Mauris vitae ultricies leo integer. Eget mi proin sed libero enim sed. Urna dui convallis convallis tellus id interdum velit laoreet id. Odio facilisis mauris sit amet. Etiam tempor orci eu lobortis elementum. Sit amet justo donec enim diam. Velit egestas dui id ornare. Porttitor eget dolor morbi non arcu risus quis varius. Dolor morbi non arcu risus quis. Urna condimentum mattis pellentesque id nibh tortor id. Quis eleifend quam adipiscing vitae proin sagittis. Lectus sit amet est placerat in egestas. At auctor urna nunc id cursus metus. Amet consectetur adipiscing elit pellentesque habitant morbi tristique senectus. Sagittis id consectetur purus ut faucibus pulvinar elementum. Placerat dui ultricies lacus sed turpis tincidunt id aliquet risus. Lectus nulla at volutpat diam ut venenatis. Scelerisque purus semper eget dui at tellus at. Dictum non consectetur a erat.

Massa vitae tortor condimentum lacinia quis vel eros. Nec dui nunc mattis enim ut tellus elementum sagittis vitae. Enim nunc faucibus a pellentesque sit amet porttitor eget. Urna nec tincidunt praesent semper feugiat. Elit eget gravida cum sociis. Mollis nunc sed id semper risus in hendrerit gravida. Eu consequat ac felis donec et odio. Vulputate sapien nec sagittis aliquam malesuada bibendum. Dolor magna eget est lorem. Dictumst quisque sagittis purus sit amet. Et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Odio eu feugiat pretium nibh. Ullamcorper morbi tincidunt ornare massa eget egestas purus. Ut eu sem integer vitae. Eros donec ac odio tempor orci dapibus.

Etiam non quam lacus suspendisse. Sollicitudin aliquam ultrices sagittis orci a scelerisque. Arcu cursus vitae congue mauris rhoncus. Ipsum dolor sit amet consectetur. Convallis a cras semper auctor neque vitae tempus quam. Morbi enim nunc faucibus a. Lacus luctus accumsan tortor posuere ac ut consequat semper viverra. Fermentum et sollicitudin ac orci phasellus egestas tellus. Etiam erat velit scelerisque in dictum non consectetur a erat. Pretium vulputate sapien nec sagittis aliquam. Quam adipiscing vitae proin sagittis. Sagittis orci a scelerisque purus semper eget dui. Placerat vestibulum lectus mauris ultrices eros in cursus. Leo in vitae turpis massa sed elementum tempus egestas. Sapien nec sagittis aliquam malesuada bibendum arcu vitae. Nunc pulvinar sapien et ligula ullamcorper malesuada proin libero nunc. Semper risus in hendrerit gravida rutrum quisque. In hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor.

Vestibulum sed arcu non odio. Eget velit aliquet sagittis id. Sed faucibus turpis in eu mi bibendum neque egestas congue. Diam phasellus vestibulum lorem sed risus ultricies tristique nulla. Quis imperdiet massa tincidunt nunc pulvinar sapien et. Pretium vulputate sapien nec sagittis. Urna condimentum mattis pellentesque id nibh tortor. Massa placerat dui ultricies lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Et tortor consequat id porta nibh venenatis cras sed felis. Lectus mauris ultrices eros in cursus turpis massa. Condimentum id venenatis a condimentum vitae sapien. Cras ornare arcu dui vivamus arcu felis bibendum. Auctor eu augue ut lectus arcu bibendum at varius.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Vulputate dignissim suspendisse in est ante in nibh. Diam maecenas sed enim ut sem viverra aliquet eget sit. Feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Viverra suspendisse potenti nullam ac tortor vitae purus faucibus. Iaculis eu non diam phasellus vestibulum lorem sed risus. Nec ullamcorper sit amet risus nullam eget felis. Elementum tempus egestas sed sed risus. Sit amet nisl suscipit adipiscing. Nibh cras pulvinar mattis nunc. Curabitur vitae nunc sed velit dignissim sodales ut eu sem. Tristique senectus et netus et malesuada fames.

Elit eget gravida cum sociis natoque penatibus. Mauris vitae ultricies leo integer. Eget mi proin sed libero enim sed. Urna dui convallis convallis tellus id interdum velit laoreet id. Odio facilisis mauris sit amet. Etiam tempor orci eu lobortis elementum. Sit amet justo donec enim diam. Velit egestas dui id ornare. Porttitor eget dolor morbi non arcu risus quis varius. Dolor morbi non arcu risus quis. Urna condimentum mattis pellentesque id nibh tortor id. Quis eleifend quam adipiscing vitae proin sagittis. Lectus sit amet est placerat in egestas. At auctor urna nunc id cursus metus. Amet consectetur adipiscing elit pellentesque habitant morbi tristique senectus. Sagittis id consectetur purus ut faucibus pulvinar elementum. Placerat dui ultricies lacus sed turpis tincidunt id aliquet risus. Lectus nulla at volutpat diam ut venenatis. Scelerisque purus semper eget dui at tellus at. Dictum non consectetur a erat.

Massa vitae tortor condimentum lacinia quis vel eros. Nec dui nunc mattis enim ut tellus elementum sagittis vitae. Enim nunc faucibus a pellentesque sit amet porttitor eget. Urna nec tincidunt praesent semper feugiat. Elit eget gravida cum sociis. Mollis nunc sed id semper risus in hendrerit gravida. Eu consequat ac felis donec et odio. Vulputate sapien nec sagittis aliquam malesuada bibendum. Dolor magna eget est lorem. Dictumst quisque sagittis purus sit amet. Et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Odio eu feugiat pretium nibh. Ullamcorper morbi tincidunt ornare massa eget egestas purus. Ut eu sem integer vitae. Eros donec ac odio tempor orci dapibus.

Etiam non quam lacus suspendisse. Sollicitudin aliquam ultrices sagittis orci a scelerisque. Arcu cursus vitae congue mauris rhoncus. Ipsum dolor sit amet consectetur. Convallis a cras semper auctor neque vitae tempus quam. Morbi enim nunc faucibus a. Lacus luctus accumsan tortor posuere ac ut consequat semper viverra. Fermentum et sollicitudin ac orci phasellus egestas tellus. Etiam erat velit scelerisque in dictum non consectetur a erat. Pretium vulputate sapien nec sagittis aliquam. Quam adipiscing vitae proin sagittis. Sagittis orci a scelerisque purus semper eget dui. Placerat vestibulum lectus mauris ultrices eros in cursus. Leo in vitae turpis massa sed elementum tempus egestas. Sapien nec sagittis aliquam malesuada bibendum arcu vitae. Nunc pulvinar sapien et ligula ullamcorper malesuada proin libero nunc. Semper risus in hendrerit gravida rutrum quisque. In hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor.

Vestibulum sed arcu non odio. Eget velit aliquet sagittis id. Sed faucibus turpis in eu mi bibendum neque egestas congue. Diam phasellus vestibulum lorem sed risus ultricies tristique nulla. Quis imperdiet massa tincidunt nunc pulvinar sapien et. Pretium vulputate sapien nec sagittis. Urna condimentum mattis pellentesque id nibh tortor. Massa placerat dui ultricies lacus sed turpis tincidunt id aliquet. Et tortor consequat id porta nibh venenatis cras sed felis. Lectus mauris ultrices eros in cursus turpis massa. Condimentum id venenatis a condimentum vitae sapien. Cras ornare arcu dui vivamus arcu felis bibendum. Auctor eu augue ut lectus arcu bibendum at varius.