



MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,
Ehemalige und Freunde des MPIK,



das MPIK ist spitze!!! Das hat uns der Fachbeirat vor Kurzem bescheinigt. Dieser gemeinsame Erfolg entstand dank Ihrer vielfältigen herausragenden Leistungen in den ineinandergreifenden Tätigkeitsbereichen am Institut. Auch MPG-Präsident Stratmann bat mich explizit in einem Begleitschreiben zum Fachbeiratsbericht, Ihnen allen seinen Dank zu übermitteln, was ich hiermit sehr gern tue.

Es ist klar, dass uns das Jahr 2020 vor besondere Herausforderungen stellt. Klar ist aber auch, dass es bereits, trotz der Einschränkungen, wieder steil aufwärts geht. So entstehen zum Beispiel, wie Sie im Folgenden lesen, überraschende Signale und Quantensprünge der Wissenschaft, im großen astronomischen wie im kleinen quantenmechanischen Universum, sowie eine neue Max-Planck-Forschungsgruppe.

Freue mich auf unseren weiteren gemeinsamen Aufstieg, bei hoffentlich bestem Wetter, aber im Wissen und Vertrauen, dass (manchmal auch hinter Wolken) die Sonne immer scheint, Ihr

Prof. Dr. Thomas Pfeifer
(Geschäftsführender Direktor)

Quantensprung auf der Waage

Durch die Messung winziger Masseunterschiede zwischen verschiedenen Quantenzuständen lassen sich neue Erkenntnisse über schwere Atome gewinnen.

In Rhenium gibt es einen bislang unentdeckten elektronischen Quantenzustand mit besonderen Eigenschaften. Diese Entdeckung gelang mit 29-fach positiv geladenen Rhenium-Ionen im neuen Penningfallen-Instrument PENTATRAP. Es kann die unglaublich winzige Massenänderung eines einzelnen Ions messen, wenn darin ein Elektron über einen Quantensprung Energie aufnimmt oder abgibt. Ursache dafür ist die Äquivalenz von Masse und Energie nach Einsteins berühmter Formel $E=mc^2$.

Im Experiment waren zwei Rhenium-Ionen in den übereinanderliegenden Fallen gespeichert. Ein Ion befand sich im energetisch niedrigsten Quantenzustand. Im zweiten Ion wurde bei seiner Erzeugung ein Elektron durch Zufuhr von Energie zufällig in einen höheren Zustand angeregt. Aufgrund der Äquivalenz von Masse und Energie war das angeregte Ion minimal schwerer als das Ion im Grundzustand. Dies wirkte sich auf die Umlauffrequenz im magnetischen und elektrischen Feld der Falle aus, die PENTATRAP präzise zählte.

Bei dem neu entdeckten Quantenzustand handelt es sich um einen extrem langlebigen metastabilen Zustand mit einer quantentheoretisch berechneten Lebensdauer von 130 Tagen. Es zeigte sich auch, dass die energetische Lage des Quantenzustands sehr gut mit Modellrechnungen mit modernsten quantenmechanischen Methoden übereinstimmt.

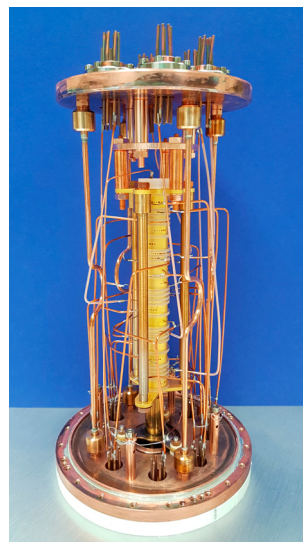
Solche angeregten elektronischen Zustände in hochgeladenen Ionen sind für

Grundlagenforschung interessant, aber auch für eine mögliche Anwendung in zukünftigen Atomuhren. Für diese ist der metastabile Zustand in Rhenium aus mehreren Gründen attraktiv. Zum einen

entspricht er wegen seiner Langlebigkeit einer scharfen Umlauffrequenz des Elektrons um den Atomkern. Zum andern kann das Elektron mit weichem Röntgenlicht zum Sprung in diesen Quantenzustand angeregt werden. Im Prinzip könnte eine solche Uhr schneller und damit noch genauer ticken als die derzeitige Generation optischer Atomuhren.

Da die Bewegung der Elektronen in hochgeladenen Ionen hochrelativistisch ist, könnte man damit testen, ob die Spezielle Relativitätstheorie und die Quantentheorie hier so zusammenspielen, wie dies die Theorie bislang beschreibt.

Ganz allgemein bietet die neue Atomwaage einen neuen Zugang zum quantenhaften Innenleben größerer Atome. Da diese aus vielen Teilchen – Elektronen, Protonen und Neutronen – bestehen, lassen sie sich nicht exakt berechnen. Daher beruhen die Atommodelle der Theorie zwangsweise auf Vereinfachungen, und diese können nun extrem genau überprüft werden. Darüber hinaus gibt es auch schon die Idee, solche Atome als Sonden für die Suche nach unbekanntem Teilchen zu benutzen, die sich allein über die extrem schwache Gravitationskraft bemerkbar machen. Diese Dunkle Materie ist eines der größten, ungelösten Rätsel der Physik.



Der PENTATRAP-Fallenturm besteht aus fünf übereinander angeordneten Penningfallen (goldene Säule in der Mitte).

Kontakt: Rima Schüssler, Klaus Blaum
Publikation: Detection of metastable electronic states by Penning trap mass spectrometry, Nature 581, 42-46 (2020), DOI: 10.1038/s41586-020-2221-0

In dieser Ausgabe

Quantensprung auf der Waage	1
Überraschendes Signal im Dunkle-	
Materie-Detektor XENON1T	2
Teilchenbeschleunigung in Jets über	
Tausende von Lichtjahren.....	2
Kurzmeldungen	3
Neue Gruppe „Ultraschnelle Dynamik in	
Flüssigkristallen“	4
Namen & Notizen.....	4
Wetterstation.....	4

Überraschendes Signal im Dunkle-Materie-Detektor XENON1T

Der Ursprung dieses unerwarteten Signals ist noch nicht vollständig verstanden.

Der von 2016 bis Ende 2018 im Gran-Sasso-Untergrundlabor betriebene XENON1T-Detektor enthielt 3,2 Tonnen hochreines flüssiges Xenon; die innersten 2 Tonnen davon dienten als Nachweismedium, in dem durchfliegende Teilchen Licht- und Ladungssignale erzeugen können. Die meisten davon gehen auf bekannte Teilchen zurück, weshalb die Anzahl dieser Hintergrundereignisse in XENON1T sehr sorgfältig bestimmt wurde. Beim Abgleich der XENON1T-Daten mit dem bekannten Hintergrund ergab sich ein überraschender Überschuss von 53 über die erwarteten 232 Ereignisse.

Was ist nun der Ursprung dieses Signals? Eine Möglichkeit könnte die Anwesenheit winziger Mengen Tritium im flüssigen Xenon sein. Tritium zerfällt spontan unter Aussendung eines Elektrons mit einer Energieverteilung ähnlich der gemessenen. Wenige Tritiumatome auf 10^{25} Xenonatomatome würden genügen, um das Signal zu erklären. Allerdings gibt es derzeit keine unabhängigen Messungen, die die Anwesenheit derart winziger

Mengen Tritium im Detektor bestätigen oder ausschließen könnten. Ob diese Erklärung für die überschüssigen Signale zutrifft, muss deshalb offenbleiben.

Eine weitaus spannendere Möglichkeit wäre die Existenz eines neuen Teilchens. Das gemessene Energiespektrum gleicht demjenigen, das für in der Sonne erzeugte Axionen (hypothetische Teilchen) vorhergesagt ist. Diese solaren Axionen sind zwar keine Dunkle-Materie-Kandidaten, aber ihr Nachweis wäre die erste Beobachtung einer gut motivierten, aber noch nicht gefundenen Klasse von Teilchen. Im frühen Universum erzeugte Axionen könnten eine Quelle für Dunkle Materie sein.

Alternativ könnten auch überraschende Eigenschaften von Neutrinos hinter dem unerwarteten Signal stecken. Als Erklärung käme in Frage, dass das magnetische Moment der Neutrinos größer ist als vom Standardmodell der Elementarteilchenphysik vorhergesagt, was ein klarer Hinweis auf neue Physik wäre.

Von allen drei betrachteten Erklärungen zeigen Signale solarer Axionen die beste Übereinstimmung mit den gemessenen Daten. Die statistische Signifikanz von 3,5 Sigma ist zwar recht hoch, aber

nicht hoch genug für eine Entdeckung. Die beiden anderen Erklärungen sind mit 3,2 Sigma ähnlich gut mit den Daten vereinbar. Nach dem Umbau von XENON1T zu XENONnT mit der dreifachen aktiven Detektormasse und geringerem Hintergrund werden bald noch bessere Daten zur Verfügung stehen, die das Rätsel lösen sollten.



Das Herzstück von XENON1T, die Zeit-Projektionskammer.

Kontakt: Manfred Lindner, Teresa Marrodán Undagoitia, Hardy Simgen
Publikation: Observation of Excess Electronic Recoil Events in XENON1T, arXiv:2006.09721 [hep-ex]

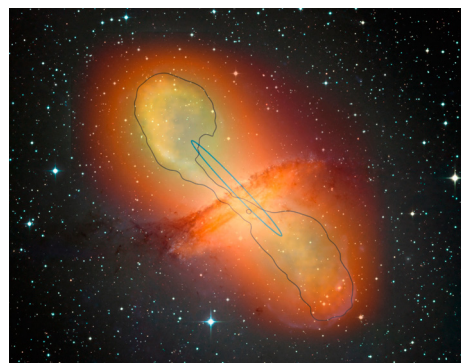
Teilchenbeschleunigung in Jets über Tausende von Lichtjahren

H.E.S.S.-Beobachtungen zeigen den Jet von Centaurus A als ausgedehnte Quelle hochenergetischen Gammalichts.

Die Beobachtung hochenergetischer Gammastrahlung ist in den vergangenen Jahrzehnten zu einem bedeutenden Zweig der Astronomie geworden. Diese sehr hochenergetischen Photonen stammen aus Regionen des Universums, wo Elektronen auf extrem hohe Energien beschleunigt werden – weit über dem was irdische Beschleuniger schaffen. Eine Reihe kosmische Beschleuniger, wie z. B. supermassive Schwarze Löcher im Zentrum bestimmter Galaxien, die Materie aus ihrer Umgebung einsammeln und einen Teil davon in Plasmajets ausschleudern, erzeugen energiereiche Photonen in Form von Röntgen- und Gammastrahlung. Deren Intensität kann auf sehr kurzen Zeitskalen im Bereich von Minuten schwanken, was ihren Ursprung nahe am zentralen Schwarzen Loch vermuten lässt. Wissenschaftler diskutieren kontrovers über die Emission von Röntgenstrahlung in diesen Jets, wobei ein Szenario die Beschleunigung von Elektronen auf extrem hohe Energien (50 TeV) erfordert. Da Elektronen innerhalb solcher Jets

rasch ihre Energie verlieren, bedürfen sie einer kontinuierlichen Energiezufuhr, um entlang des gesamten Jets mit hohen Energien aufzutreten.

Als die der Erde am nächsten gelegene Radiogalaxie (die im Bereich von Radiowellen besonders leuchtkräftig ist) erlaubte es Centaurus A den H.E.S.S.-Wissenschaftlern, die Region sehr hochenergetischer Strahlungsemission zu identifizieren und zugleich den Verlauf der Plasmajets zu untersuchen. Dafür waren mehr als 200 Beobachtungsstunden erforderlich. Auf Basis



Das Kompositbild (optisch, Submillimeter, Röntgen, Hochenergie-Gamma) von Centaurus A zeigt die vom zentralen Schwarzen Loch ausgehenden Jets.

einer umfangreichen Analyse konnten sie zeigen, dass sich die Quelle der Gammastrahlung über einen Bereich von mehreren Tausend Lichtjahren erstreckt. Daraus ergibt sich der Nachweis, dass die Teilchenbeschleunigung nicht allein in der Umgebung des Schwarzen Lochs geschieht, sondern auch auf der gesamten Länge des Plasmajets.

Diese Entdeckung deutet darauf hin, dass viele Radiogalaxien mit ausgedehnten Jets effizient Teilchen auf extrem hohe Energien beschleunigen können. Dies wiederum liefert entscheidende Informationen für die Debatte um den Ursprung der Röntgenstrahlung. Es revolutioniert unser Bild der großskaligen Jets und bringt unser Verständnis der kosmischen Teilchenbeschleunigung einen großen Schritt vorwärts. Die nächste Teleskop-Generation (Cherenkov Telescope Array, CTA) wird es erlauben, diese Phänomene noch viel detaillierter zu untersuchen.

Kontakt: Frank Rieger, Felix Aharonian
Publikation: Resolving acceleration to very high energies along the Jet of Centaurus A, Nature 582, 356-359 (2020), DOI: 10.1038/s41586-020-2354-1

+ + + Kurzmeldungen + + +

Optischer Uhrenübergang

In einer experimentell-theoretischen Gemeinschaftsarbeit gelang es erstmals, eine Orbitalkreuzung im hochgeladenen Ion Pr^{9+} nachzuweisen. Die Analyse mittels einer Elektronenstrahl-Ionenfalle aufgenommen optischer Spektren anhand von Atomstrukturrechnungen lieferte einen hierfür erwarteten Übergang von nHz-Breite, dessen Energie mit hoher Präzision bestimmt werden konnte. Die Theorie sagt für diese „Uhrenlinie“ eine sehr große Empfindlichkeit auf „neue Physik“ und zugleich eine extrem geringe Anfälligkeit gegenüber externen Störungen voraus, was sie zu einem einzigartigen Kandidaten zukünftiger Präzisionsstudien macht.

Kontakt: Zoltán Harman, José Crespo López-Urrutia
Meldung vom 11.12.2019

Quantenlogik-Spektroskopie

Wissenschaftler der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und des MPIK haben erstmals optische Messungen mit bislang unerreichter Präzision an hochgeladenen Ionen durchgeführt. Dazu isolierten sie ein einzelnes Ar^{13+} -Ion aus einem extrem heißen Plasma und brachten es in einer Ionenfalle zusammen mit einem lasergekühlten, einfach geladenen Ion praktisch zur Ruhe. Mittels Quantenlogik-Spektroskopie an dem Ionenpaar konnten sie die Präzision gegenüber bisherigen Methoden 100-millionenfach steigern. Dies erschließt die Vielfalt hochgeladener Ionen für neuartige Atomuhren und eröffnet weitere Wege auf der Suche nach „neuer Physik“.

Kontakt: José Crespo López-Urrutia
Meldung vom 29.01.2020

Im Maschinenraum von Eta Carinae

Auf welche Weise erzeugt der extrem massereiche und leuchtstarke Doppelstern Eta Carinae Röntgen- und Gammastrahlung? Eine Analyse von Daten des Fermi-Gammastrahlensatelliten im Vergleich mit verfeinerten Modellrechnungen ergab, dass Gamma- und Röntgenstrahlen durch unterschiedliche Vorgänge entstehen. Das Modell kann auch die Variationen während des sehr exzentrischen Umlaufs der Sterne umeinander erklären. Aktuelle Beobachtungen mit dem großen Teleskop von H.E.S.S., das Anschluss an den Energiebereich von Fermi hat und mit einer neuen leistungsstarken Kamera (FlashCam) ausgestattet ist, sollen weitere Einblicke liefern.

Kontakt: Richard White, Mischa Breuhaus, Brian Reville
Meldung vom 28.04.2020



Der Eta Carinae umgebende Homunculus-Nebel besteht aus Gas und Staub, die bei dem großen Ausbruch Mitte des 19. Jahrhunderts ausgeschleudert wurden. (Hubble-Bild © NASA, ESA)

Zerbrechen molekularer Ringe

Experimente und theoretische Berechnungen ermöglichten die Identifizierung einer neuen Reaktion in Paaren aus einem Wasser- und einem organischen Molekül – speziell Tetrahydrofuran, das den Desoxyriboseringen im Rückgrat der DNS ähnelt. Diese Reaktion führt nach Ionisation des organischen Moleküls zur Zerstörung der Ringstruktur. Glücklicherweise ist die Stabilität biologischer Moleküle in Zellen davon nicht betroffen, weil wirksame Kühlvorgänge die betroffenen Moleküle in größeren Einheiten wie Tröpfchen oder Flüssigkeiten stabilisieren können.

Kontakt: Alexander Dorn, Thomas Pfeifer
Meldung vom 04.05.2020

Auf dem Weg zu „neuer Physik“

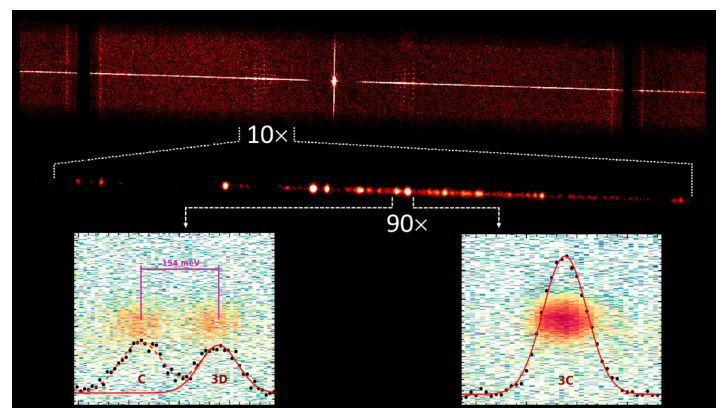
Ein Schritt zu „neuer Physik“ mit atomphysikalischen Methoden gelang mit PENTATRAP anhand von Massenmessungen an einer Reihe von Xenon-Isotopen. Mittels hochauflösender Laserspektroskopie an ähnlichen Ketten anderer Elemente kann über die geringfügigen Energiedifferenzen auf einen linearen Zusammenhang geschlossen werden. Nichtlineare Abweichungen davon können jedoch ein Indiz für „neue Physik“ sein, die sich bei extrem genauer Beobachtung manifestiert – eine Alternative zu Hochenergieexperimenten. Die direkte Messung der Bindungsenergie eines Elektrons in einem hochgeladenen Ion zeigte eine sehr gute Übereinstimmung mit relativistischen Atomstrukturrechnungen.

Kontakt: Sergey Eliseev, Zoltán Harman, Klaus Blaum
Teil der Meldung vom 06.05.2020

Neue Messung verschärft altes Problem

Seit Jahrzehnten rätseln Astrophysiker über zwei markante Röntgen-Emissionslinien von hochgeladenem Eisen: ihr gemessenes Helligkeitsverhältnis stimmt nicht mit dem berechneten überein. Das beeinträchtigt die Bestimmung der Temperatur und Dichte von Plasmen. Neue sorgfältige, hochpräzise Messungen und Berechnungen mit modernsten Methoden schließen nun alle bisher vorgeschlagenen Erklärungen für diese Diskrepanz aus und verschärfen damit das Problem. Aber das neue, genaue Messresultat eignet sich zur Korrektur astrophysikalischer Modelle.

Kontakt: Steffen Kühn, Zoltán Harman, Natalia Oreshkina, Sven Bernitt
Meldung vom 02.06.2020



Röntgenspektrum von Capella, aufgenommen mit dem LETG-Instrument des Röntgensatelliten Chandra, und das mit der PolarX-EBIT im Labor gemessene hochaufgelöste Spektrum der Fe^{16+} -Röntgenlinien (3C und 3D) zusammen mit Linie C von Fe^{15+} .

Neue Gruppe „Ultraschnelle Dynamik in Flüssigkristallen“

Dr. Laura Cattaneo war im Auswahlverfahren der Max-Planck-Gesellschaft für neue selbstständige Forschungsgruppen erfolgreich. Anfang Mai hat sie begonnen, ihre Gruppe „ULCD – Ultraschnelle Dynamik in Flüssigkristallen“ am MPIK aufzubauen.

Sie wird grundlegende Phänomene in Flüssigkristallen (LCs) untersuchen, einer Metaphase zwischen Flüssigkeit, Gas und Feststoff. Konzentrieren wird sie sich dabei auf die Prozesse und ihre Dynamik, die während Phasenübergängen in einem extrem großen zeitlichen und räumlichen Bereich ablaufen. Mit Flüssigkristallen ist es in der Tat möglich, auf kontrollierte Weise von einem isotropen System ohne spezielle Ordnung wie in Gasen oder Flüssigkeiten über einen teilweise geordneten (orientierten) Zustand zu einem vollständig geordneten und dreidimensional-periodischen System zu gelangen.

Dazu wird die Gruppe vorrangig Phänomene studieren, die mit wenig Energieaufwand bei Übergängen zwischen unterschiedlich strukturell organisierten Phasen ablaufen. Die Untersuchungen sollen es erlauben, den Grad der Lokalisation kollektiver mole-



kularer Dynamik nach Anregung mit THz-Pulsen zu bestimmen und Fragen wie diese zu beantworten: Was ist die Natur der kollektiven Moleküldynamik in Flüssigkristallen während eines Phasenübergangs? Unter welchen Bedingungen bleibt diese kollektive Dynamik nach der Anregung erhalten? Oder beeinflusst die resonante kollektive Dynamik vorübergehend die elektronischen und/oder strukturellen Eigenschaften des Flüssigkristalls?

Um Informationen über die elektronische Dynamik auf kürzesten Zeitskalen zu gewinnen, wird die Gruppe außerdem die von einem ultrakurzen Impuls ausgelöste molekulare Bewegung in Echtzeit über die Erzeugung hoher Harmonischer sichtbar machen und die nichtlineare Antwort auf resonante Anregung niedrig-frequenter Moden aufzeichnen.

Laura Cattaneo studierte Physik am Polytechnikum Mailand und promovierte 2011 in Mailand bei Prof. Pietro Cavallotti. Daran schlossen sich Forschungsaufenthalte an der Radboud-Universität in Nijmegen (2011-2014) und an der ETH Zürich (2014-2020) an.

Namen & Notizen

Förderung

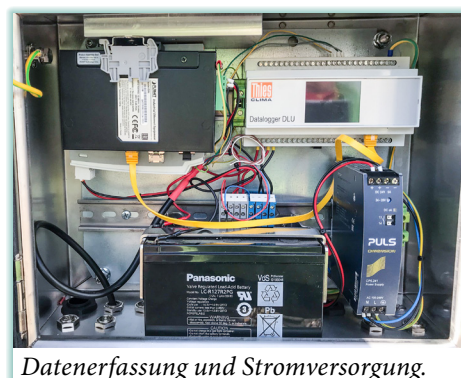
Dr. Adriana Pálffy-Buß: Aufnahme in das Heisenberg-Programm der DFG – ab 01.10.2020 an der Universität Erlangen-Nürnberg

Wetterstation

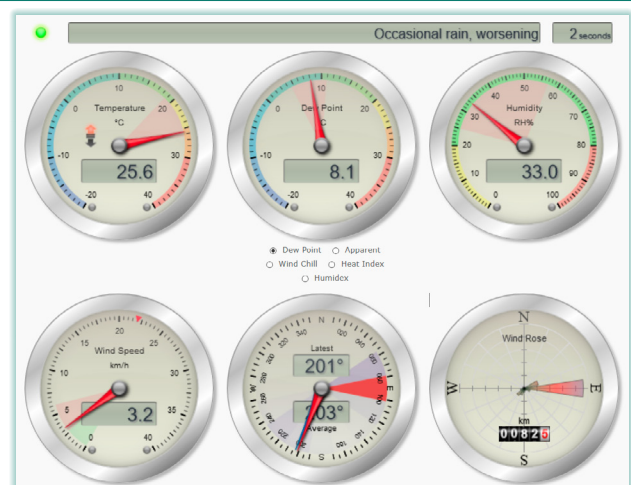
Für den Freiluft-Langzeittest der FlashCam im vergangenen Jahr wurde eine Wetterstation angeschafft. Danach sollte sie einen festen Ort finden und neben allgemein verfügbaren Wetterdaten auch für die Gebäudeleittechnik nutzbar sein. Nach längerer Planungs- und Vorbereitungszeit konnte im April ein Team aus Haustechnik, Feinwerktechnik und Elektronik sie auf dem Dach des Technikgebäudes aufbauen. Seither sind die aktuellen Wetterdaten (Bild rechts) über die Internetseite des Instituts abrufbar.



Die Wetterstation ist an der Spitze des Masts montiert.



Datenerfassung und Stromversorgung.



Am Ende des meteorologischen Winters hatte es doch noch geschneit (28.02.).

Impressum

Herausgeber:
Redaktion:

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg · info@mpi-hd.mpg.de
Dr. Bernold Feuerstein, Dr. Gertrud Hönes