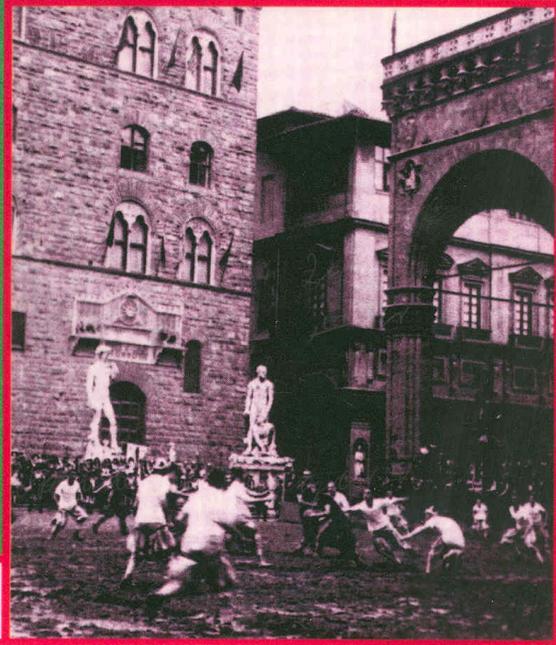


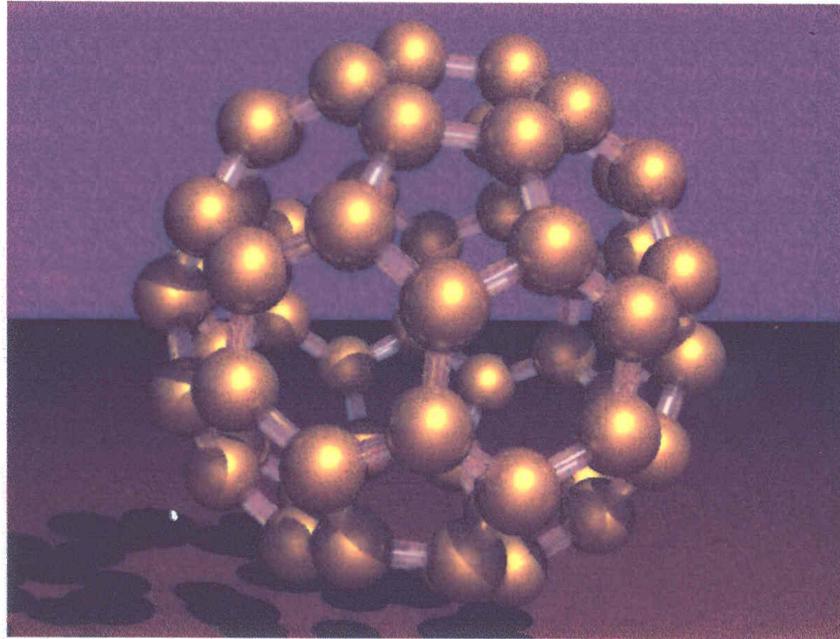
Wagenbach



WAT

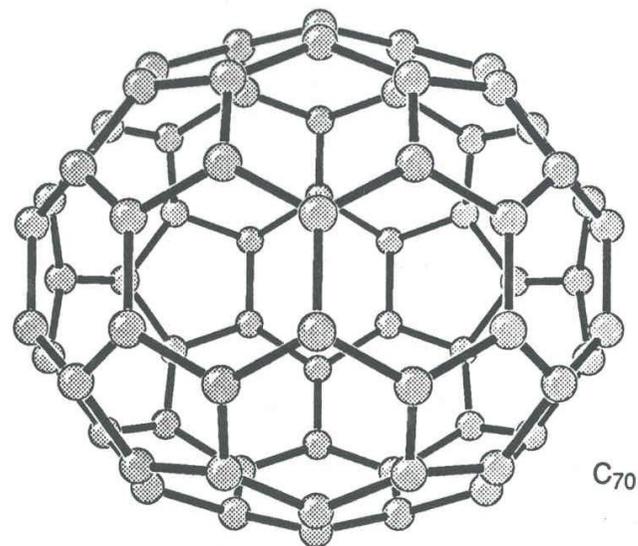
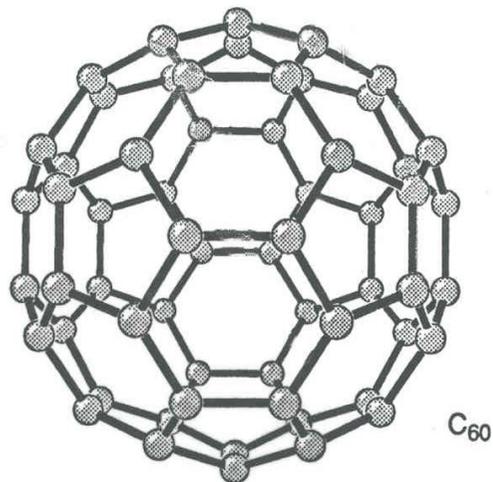
Horst Bredekamp
*Florentiner Fußball:
Die Renaissance der Spiele*

Molekularer Fußball- zauber



Sinn und Schönheit
zweckfreier
Forschung

→ "Molecular Beauty Contest"



"Fullerene-C₆₀: The Molecule of the Year"

Angew. Chem., 1990 ;

Culmination: 1996 Nobel Prize

Science, 1991

in Chemistry to: R. Curl, H. Kroto, R. Smalley

"... Fullerenene sind molekulare Gebilde, an denen sich das kosmische und mikrokosmische Charisma des Fußballs beweist, ... sie werden vermutlich eine Ikone der modernen Chemie ..."

Sir H.W. Kroto, 1996

Fußball-Moleküle -

ein Medienereignis!

" Stoff der Stoffe... "

Capital, 1991, 247

" ... Schiffe in einer Flasche... ,
... eine fundamental neue Chemie ... ,
... C_{60} könnte die Welt mehr verändern
als es die Kernspaltung tat... "

Der Spiegel, 1991, 284

1991/1992: 1.8 Veröffentlichungen / Tag !

Bucky News

"Doping für Fußbälle"

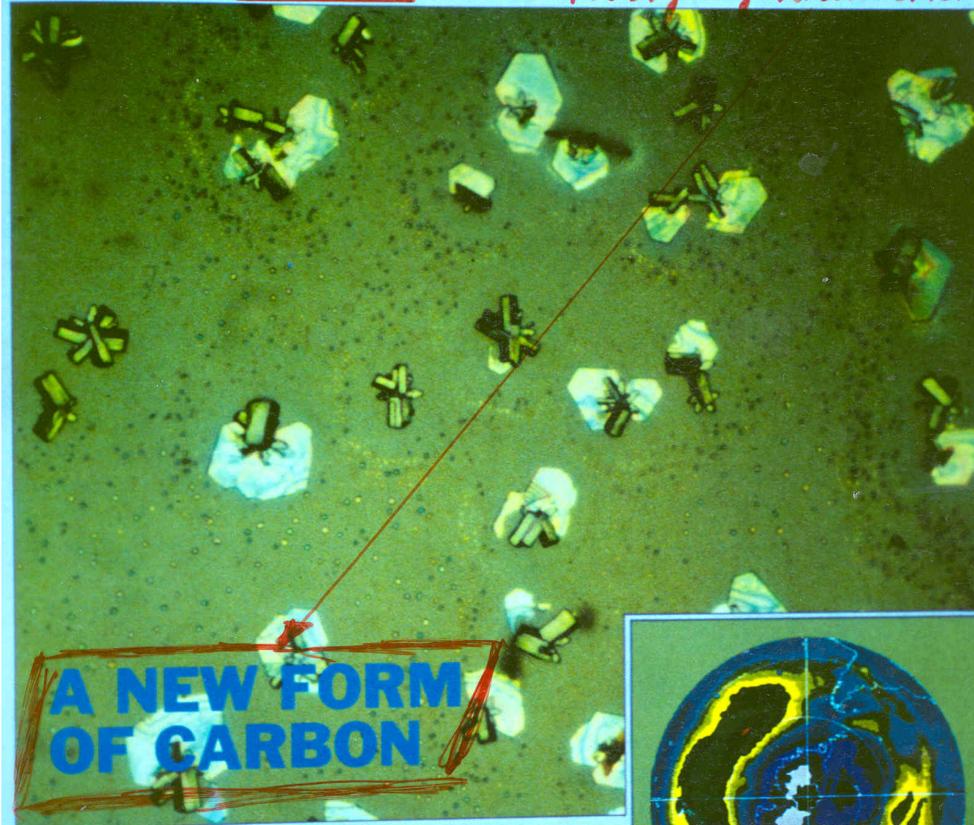
FAZ, 13.4. 2004

nature

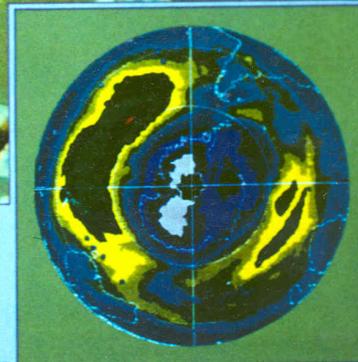
INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

Volume 347 No. 6291 27 September 1990 £2.50

→ *Wolfgang Krätschmer*

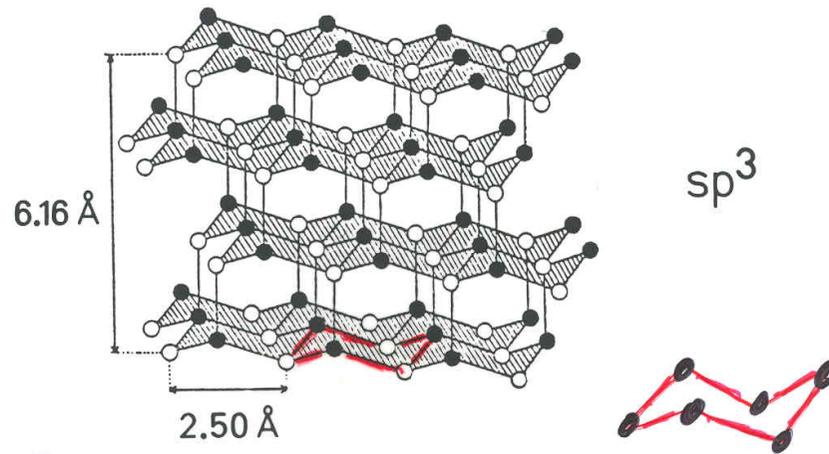


**A NEW FORM
OF CARBON**



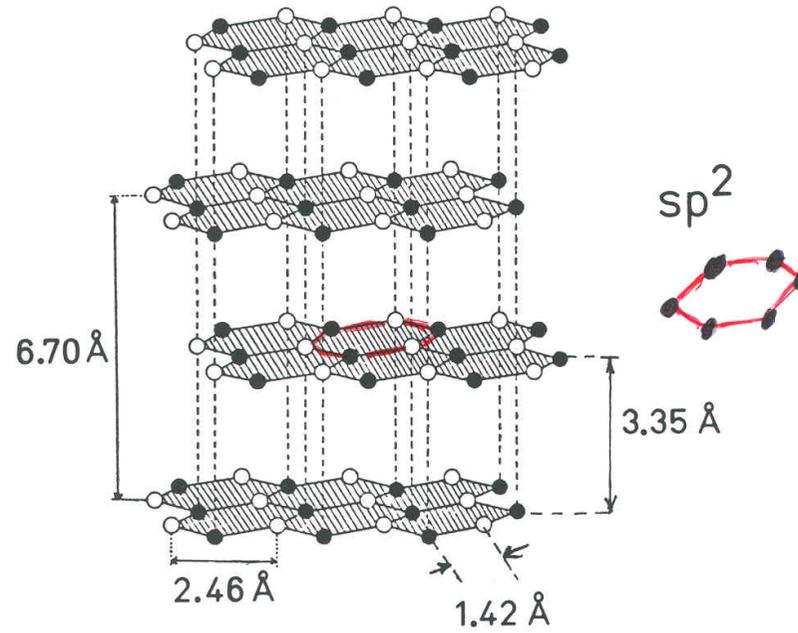
**UNDERSTANDING ANTARCTIC
OZONE DEPLETION**

The cellular defect behind cystic fibrosis



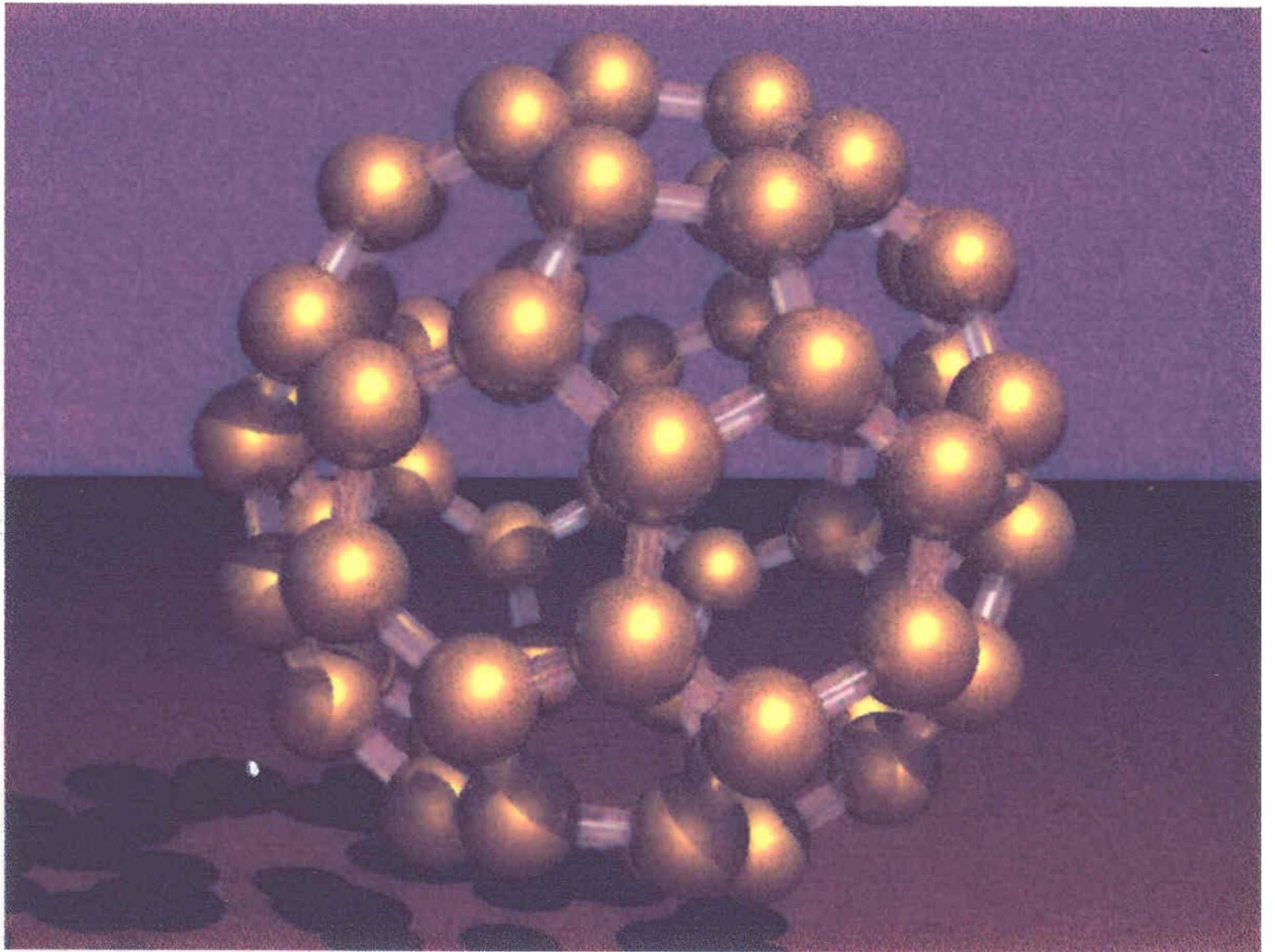
①

→ Diamond



②

→ Graphite



The House of Lords

December 10, 1991

"Buckminsterfullerene:

Research Report"

Buckminsterfullerene: Research Support

2.51 p.m.

 Lord Erroll of Hale asked Her Majesty's Government:

What steps they are taking to encourage the use of Buckminsterfullerene in science and industry.

The Parliamentary Under-Secretary of State, Department of Trade and Industry (Lord Reay): My Lords, the Government have been following with interest the emergence of Buckminsterfullerene and support research currently being undertaken at Sussex University through the Science and Engineering Research Centre. However, it must be left to the judgment of firms whether they wish to pursue research into commercial applications of Buckminsterfullerene and other fullerenes.

Lord Errol of Hale: My Lords, I thank my noble friend for his Answer, which is good so far as it goes. Can he not offer more substantial support in this country for the development of this exciting new form of carbon? It is already being manufactured in no fewer than three factories in the United States.

Lord Reay: My Lords, as I said, the Government continue to fund academic research into Buckminsterfullerene at Sussex University. Many grants have been made available since 1986 which have gone towards that research. SERC also supports a number of researchers investigating the theoretical aspects of chemical bonding relating to fullerenes. The Government funding for collaborative research between industry and the academic world into the commercial application of Buckminsterfullerenes may be available also under the Link scheme or other schemes.

 Baroness Seear: My Lords, forgive my ignorance, but can the noble Lord say whether this thing is animal, vegetable or mineral?

Lord Reay: My Lords, I am glad the noble Baroness asked that question. I can say that a Buckminsterfullerene is a molecule composed of 60 carbon atoms known to chemists as C₆₀. Those atoms form a closed cage made up of 12 pentagons and 20 hexagons that fit together like the surface of a football.

Lord Williams of Elvel: My Lords, is the noble Lord aware, in supplementing his Answer, that the football-shaped carbon molecule is also known, for some extraordinary reason as "Bucky ball"? It created a considerable stir within the scientific community. As the British Technology Group either has been, or is shortly to be, privatised, is this not a case that should be taken up by the privatised BTG and promoted as a British invention?

Lord Reay: My Lords, privatised BTG will be free to take that decision. We do not feel that it is for the Government to say whether or not Buckminsterfullerenes have commercial usages, nor whether companies should become involved. It must be up to them.

Lord Renton: My Lords, is it the shape of a rugby football or a soccer football?

Lord Reay: My Lords, I believe it is the shape of a soccer football. Professor Kroto, whose group played a significant part in the development of Buckminsterfullerenes, described it as bearing the same relationship to a football as a football does to the earth. In other words, it is an extremely small molecule.

Lord Campbell of Alloway: My Lords, what does it do? 

Lord Reay: My Lords, it is thought that it may have several possible uses; for batteries, as a lubricant or as a semi-conductor. All that is speculation. It may turn out to have no uses at all.

Earl Russell: My Lords, can one say that it does nothing in particular and does it very well? 

Lord Reay: My Lords, that may well be the case. 

Lord Callaghan of Cardiff: My Lords, where does the name come from?

Lord Reay: My Lords, it is named after the American engineer and architect, Buckminster Fuller, who developed the geodesic dome, which bears a close resemblance to the structure of the molecule.

House of Lords, 10 December, 1991

Buckminsterfullerene: Research Report

Baroness Seear:

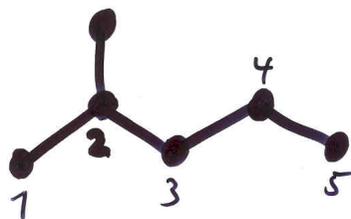
My Lords, forgive my ignorance, but can the noble Lord say whether this thing is animal, vegetable or mineral?

Lord Callaghan of Cardiff:

My Lords, where does the name come from?

Lord Reay:

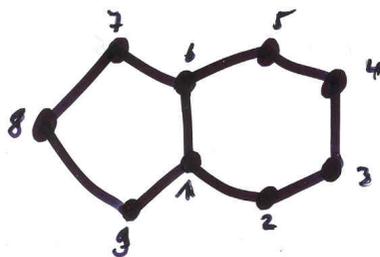
My Lords, it is named after the American engineer and architect, Buckminster Fuller, who developed the geodesic dome, which bears a close resemblance to the structure of the molecule.



2-Methylpentane



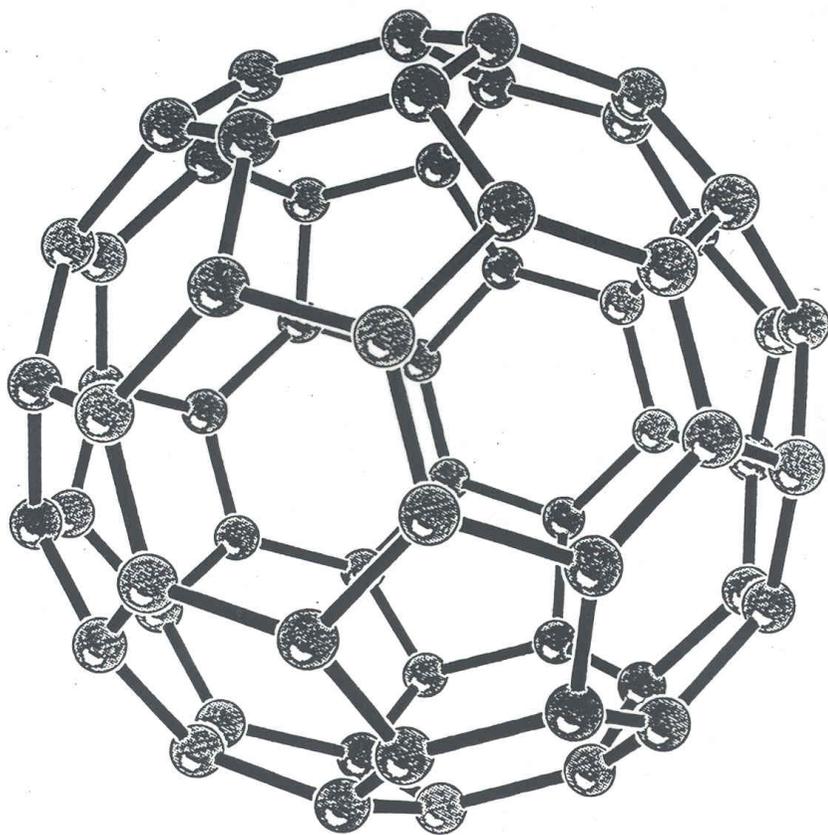
3-Methylpentane



Bicyclo[4.3.0]nonane

etc etc etc etc

C₆₀



Fullerene-60

IUPAC name (computer-derived):

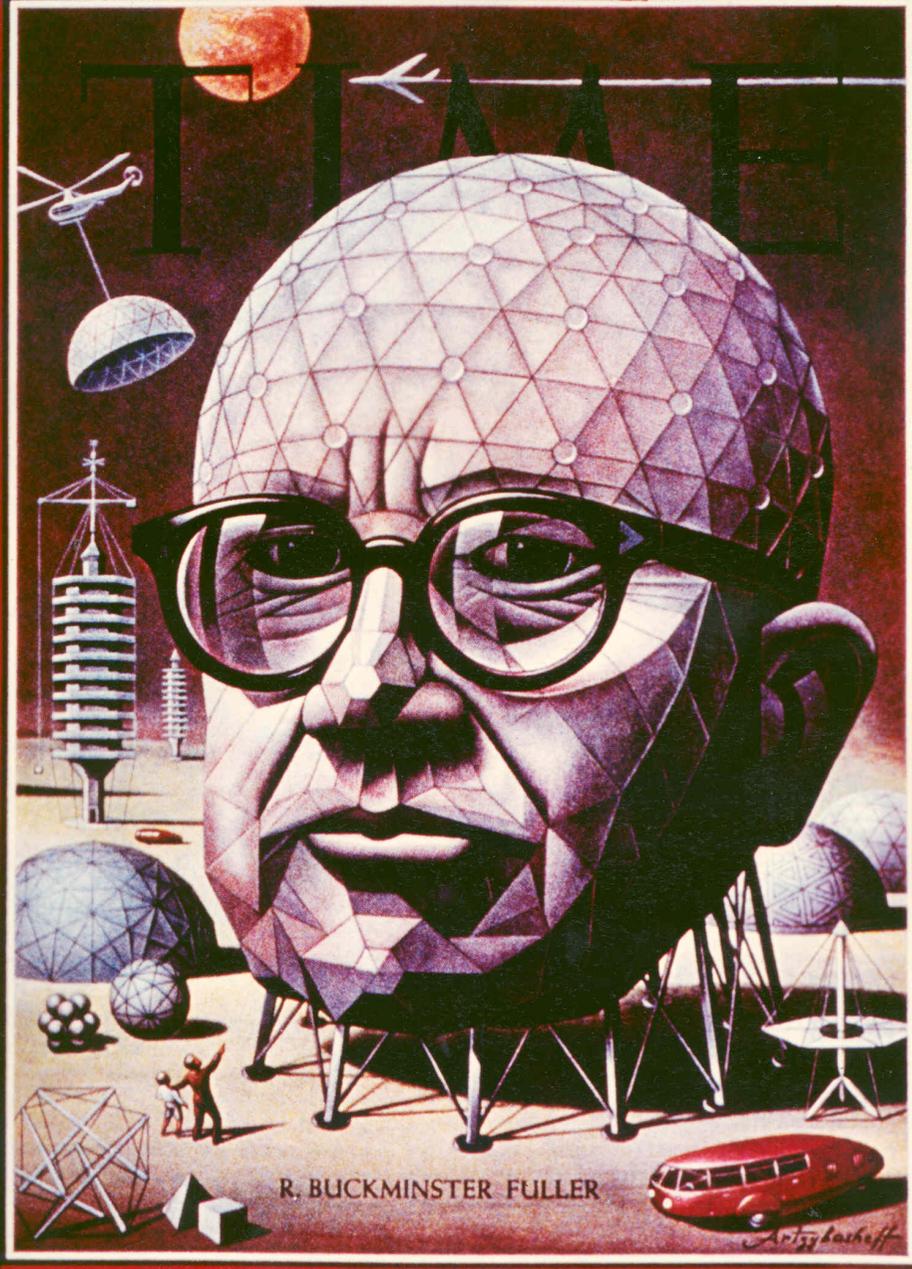
Hentriacontacyclo[29.29.0.0.^{27,44}0^{3,12}0^{4,59}
0^{5,10}0^{6,58}0^{7,53}0^{8,53}0^{9,21}0^{11,20}0^{13,18}0^{15,30}
0^{16,28}0^{17,25}0^{19,24}0^{22,52}0^{23,50}0^{26,49}0^{27,42}0^{29,45}
0^{32,44}0^{33,60}0^{34,57}0^{35,43}0^{36,56}0^{37,41}0^{38,54}0^{39,51}
0^{40,48}0^{42,46}]hexaconta-1,3,5(10),6,8,11,13(18)14,16,
19,21,23,25,27,29(45),30,32(44),33,35(43),36,
38(54),39(51),40(48),41,46,49,52,55,
57,59-triacontane



" well; given this monster name it might indeed be better to search for a better alternative".
Which one - there are many choices!

THIRTY CENTS

JANUARY 10, 1964



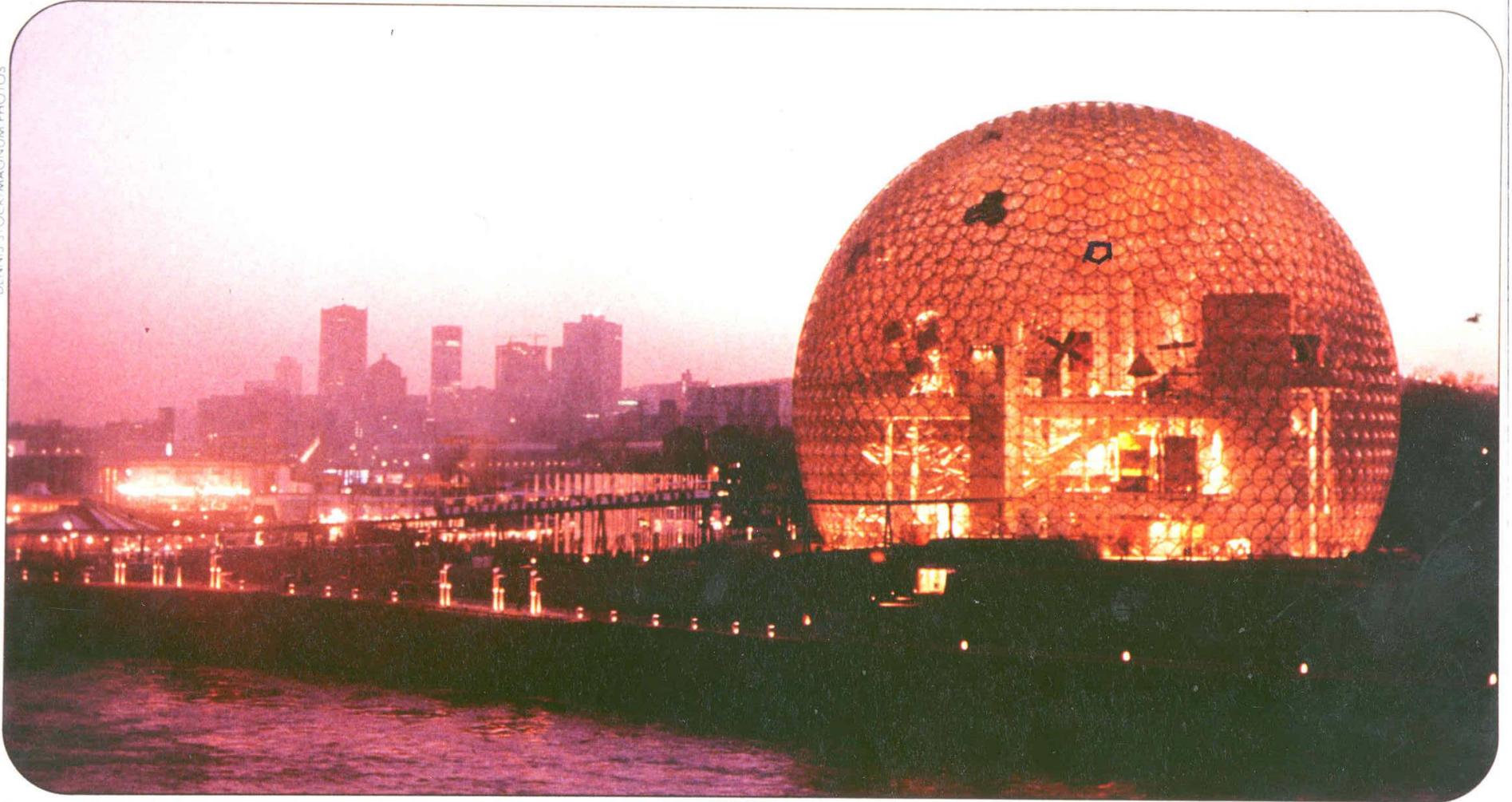
R. BUCKMINSTER FULLER

Artzykharoff

VOL. 83 NO. 2

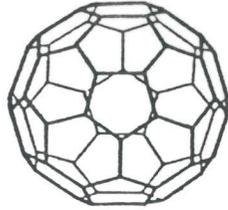
minster Fuller and the fruit

the cover of *Time* magazine, January 10, 1964



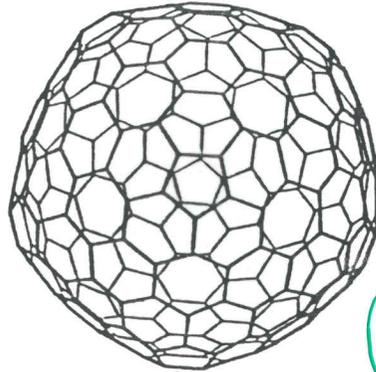
One of Fuller's last large domes, the United States Pavilion at the 1967 Montreal world's fair, glistens in the twilight.

Fullerenes



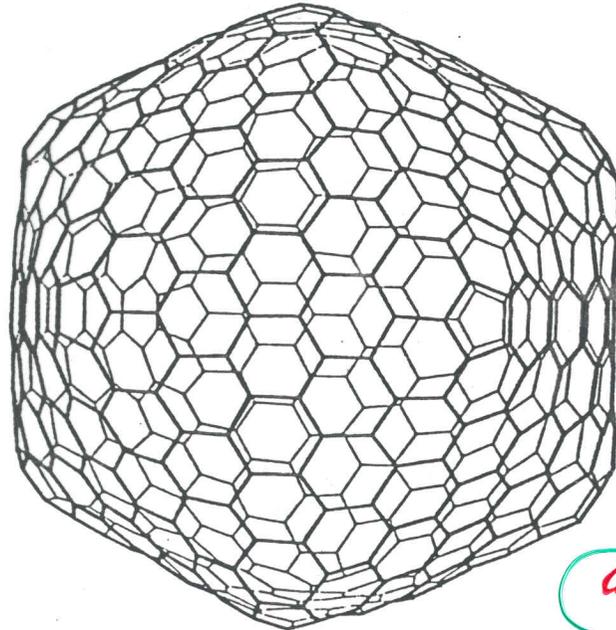
C₆₀

irrespective of
cluster size,
there are 12, and
on C₆₀,
on C₆₀,
on C₆₀,



C₂₄₀

→ 5-membered
rings present



C₅₄₀

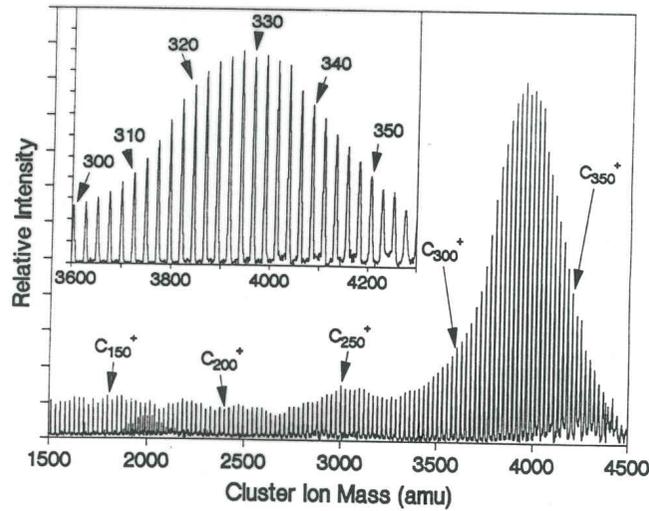


Figure 4. Mass spectrum of large carbon clusters produced by laser vaporization of graphite. Inset shows that there are few if any odd-numbered clusters present. Reprinted with permission from ref 21. Copyright 1990 American Institute of Physics.

→ For closed networks consisting of x atoms, EULLER's theorem* predicts for the number of pentagonal (P) and hexagonal (H) faces:

$$12(\text{P}) + \frac{x-20}{2} (\text{H})$$

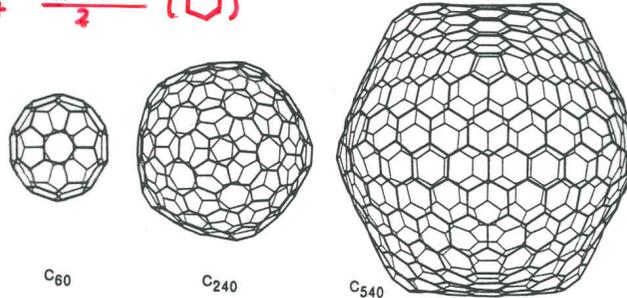


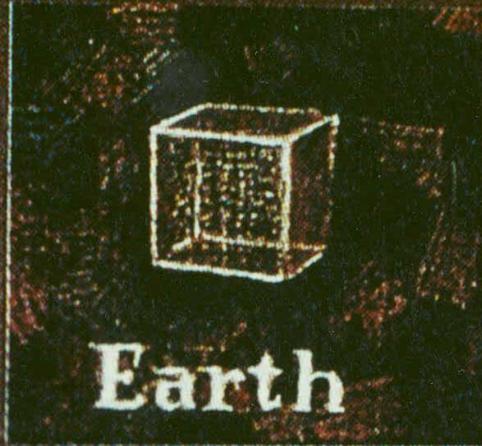
Figure 22. The set of fullerenes C_{60} , C_{240} , and C_{540} with diameters in the ratio 1:2:3. Kroto and McKay¹⁰⁸ showed that quasicosahedral shape develops rapidly for the giant fullerenes. Strain in the giant fullerenes is expected to be focused in the regions of the corannulene-like cusps. The surface thus becomes a smoothly curving network connecting the twelve cusps (reprinted from ref 108; copyright 1988 Macmillan Magazines Ltd.).

*Euler: for convex polyhedrons, the following relation between the numbers i, j, k of faces, vertices, edges holds true:

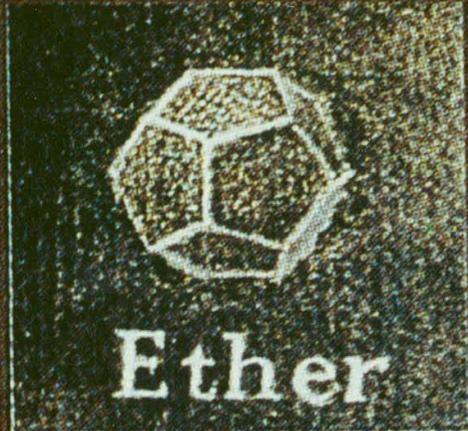
$$i_{\text{faces}} + j_{\text{vertices}} = k_{\text{edges}} + 2$$



Fire



Earth



Ether



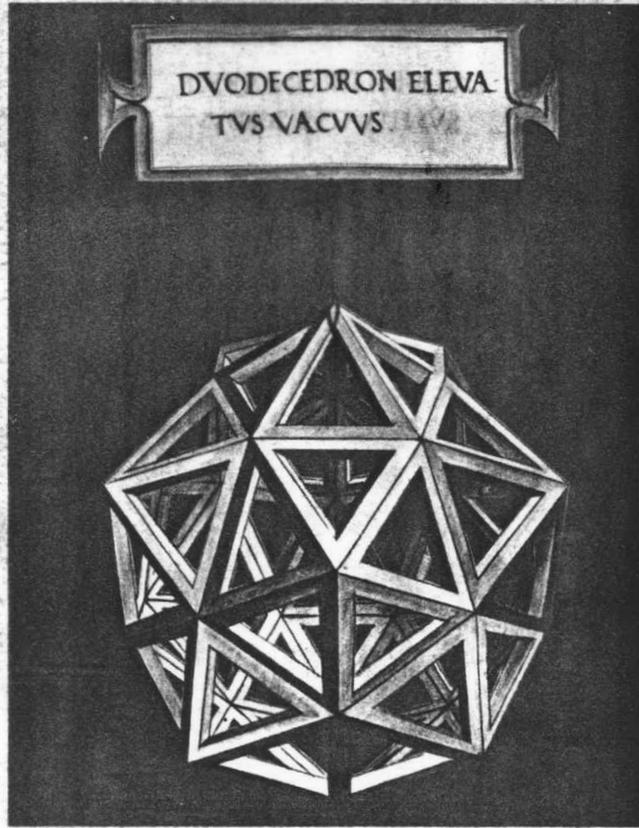
Air



Water

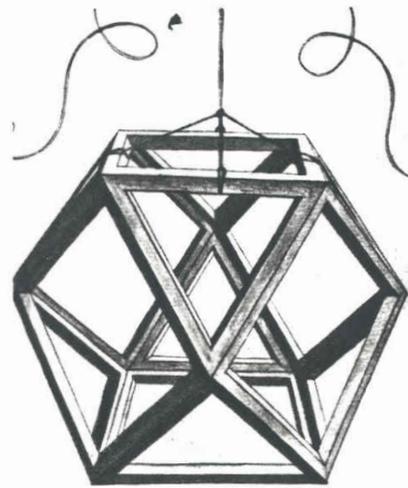
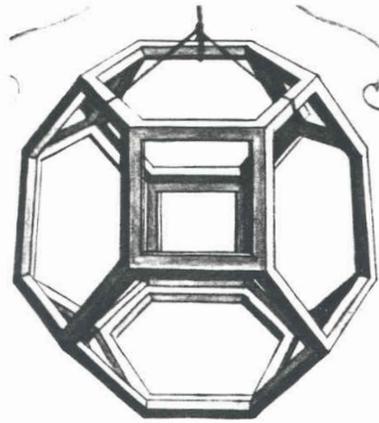
LEONARDO

DVODECEDRON ELEVA
TVS VACVVS



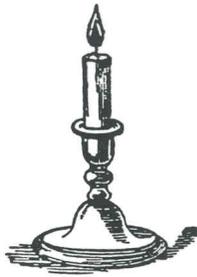
THE SCIENTIST

Leonardo's illustrations for De divina proportione – complex three-dimensional designs in solid geometry – were extolled by Pacioli as “extraordinary and most beautiful figures.” Among the drawings were the so-called “Platonic regular bodies;” five polyhedra that Plato had said defined the forms of the five natural elements: the pyramid – fire; the cube – earth; the 8-sided octahedron – air; the 20-sided icosahedron – water; the 12-sided dodecahedron – heaven. Leonardo drew these in all of their variants; he already had been exposed to the geometry of perspective in his early days in Florence,



and the abstract perfection of these intricate forms must have pleased and intrigued him. In 1501 he was so obsessed with mathematics that he neglected his painting and, writes an observer, “the sight of a brush puts him out of temper.” A new interest, however, always took him back to old familiar ones, enriching his painting and helping him penetrate engineering theory and practice. In Manuscript K he writes, “Let proportion be found not only in numbers and measures, but also in sounds, weights, times, and positions, and whatever force there is.”

↑
"60"



①

Drawing from the frontispiece of Faraday's Book

'The Chemical History
of a Candle'

② *Imperfect combustion* →
of benzene

③ Diederich: $c-C_{40}O_{10}$
↓ $h\nu: -10 \times CO$
 $[C_{30}] \xrightarrow{2x} C_{60}$

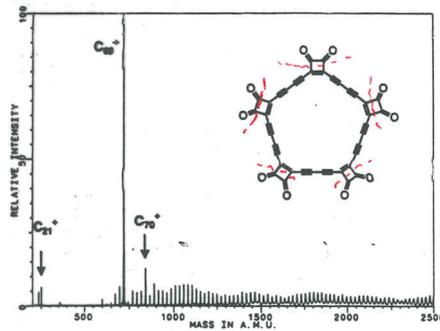


Figure 10. Remarkable positive-ion laser desorption Fourier transform mass spectrum, observed by Rubin et al.,²⁶ of the ring carbon oxide depicted under low laser power. This oxide which might be expected to decarbonylate to yield a C_{30} monocyclic ring has clearly dimerised to form C_{60} buckminsterfullerene!

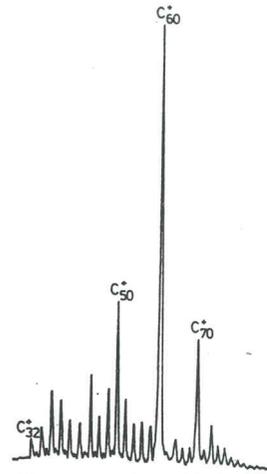


Figure 19. Mass spectrum, observed by Gerhardt, Löffler, and Homann,⁸⁷⁻⁹⁰ of positive ions produced by a sooting benzene/oxygen flame ($C/O = 0.76$) (reprinted from ref 87; copyright 1987 Elsevier Science Publishers). *also: Howard, MIT*

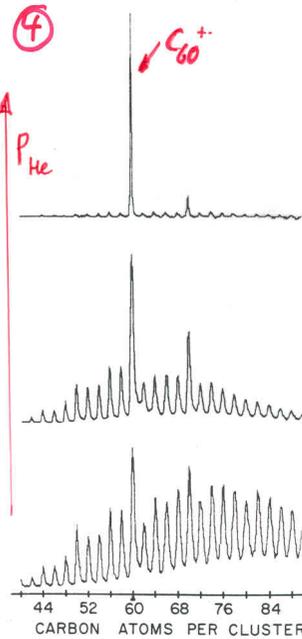


Figure 3. Mass spectrum of carbon clusters produced by laser vaporization under conditions of increasing (bottom to top) chemical "cooking" in the supersonic nozzle. Reprinted with permission from ref 8. Copyright 1985 Macmillan Magazines Ltd.

Krato et al.

Z. Phys. 1943Birthplace of Carbon Cluster Research

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie, Berlin-Dahlem.)

Hat ein Caesium-Isotop langer Halbwertszeit existiert?

Ein Beitrag zur Deutung ungewöhnlicher Linien
in der Massenspektrographie *).Von J. Mattauch und H. Ewald, O. Hahn und F. Strassmann.

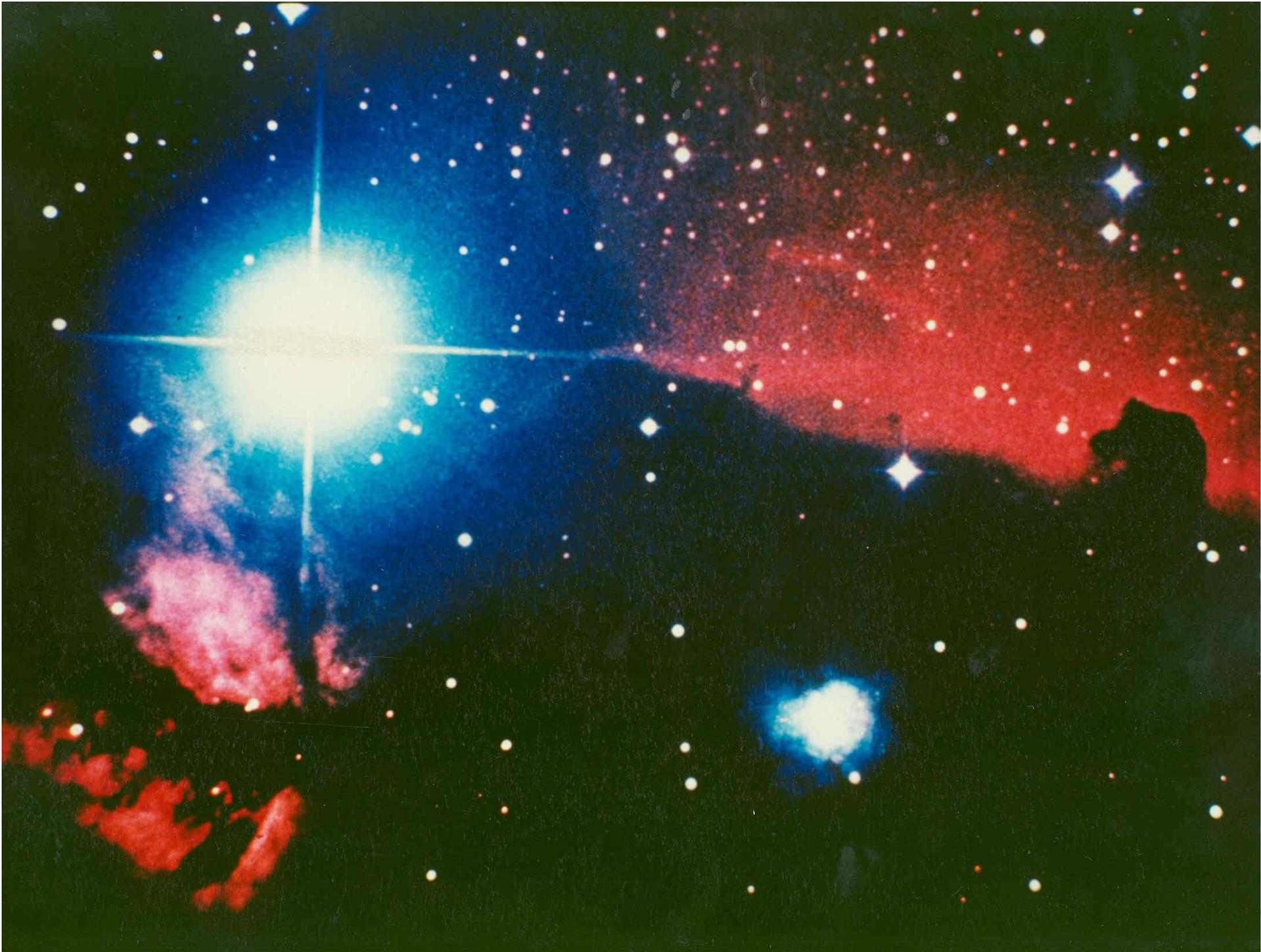
Mit 4 Abbildungen. (Eingegangen am 4. September 1942.)

Im Sulfatrückstand aus dem geologisch alten Caesiummineral Pollucit hat Wahl massenspektrographisch die Linie 132 gefunden, die er als ^{132}Ba , das Folgeprodukt eines β^- -aktiven, jetzt ausgestorbenen ^{132}Cs , deutet. Zur Überprüfung seiner Versuchsergebnisse wurde aus einem Pollucit gleicher Herkunft (30,77% Cs_2O) das darin in kleiner Menge enthaltene Barium möglichst rein abgeschieden und massenspektrographisch untersucht. Es zeigte sich, daß dieses Barium dieselben Isotope mit der gleichen relativen Häufigkeit besitzt wie gewöhnliches Barium. Die Deutung der von Wahl beobachteten Linie 132 als ^{132}Ba ist demnach nicht haltbar. Dabei war unsere Methode empfindlich genug, um nachzuweisen, daß das mit dem Barium nur zum Teil mit abgeschiedene Strontium nicht die normale Isotopenverteilung zeigt; es war vielmehr zu etwa 80% aus dem β^- -aktiven Rubidium entstanden, das im Pollucit in viel geringerem Prozentsatz (1,60% Rb_2O) enthalten ist als Caesium. — Die im Hochfrequenzfunken erzeugten Ionen ergaben eine Reihe bisher noch nicht beobachteter Linien und Liniengruppen. Es wird gezeigt, wie durch Messung der Intensitätsverteilung oder des Packungsanteiles eine einwandfreie Identifizierung dieser Linien vorgenommen werden kann. Z. B. trat bei Verwendung eines Kohlestiftes als Elektrode unter Umständen die Linienserie C_1, C_2, C_3 bis C_{15} auf (C_{11} hat die Massenzahl 132); demnach fand im Funken eine Zerstäubung der Kohle bis zu molekularen Dimensionen herab statt. Wie ferner an Nickel, Xenon und anderen Elementen beobachtet wurde, können sehr stark auftretende Isotopenspektren sich mit geringer Intensität, aber gleicher Häufigkeitsverteilung bei den doppelten Massen wiederholen; die Ursache dafür sind Umladungen von doppelt geladenen auf einfach geladene Ionen im Raum zwischen den beiden Ablenkfeldern. Bei Anwesenheit von Natrium und Brom zeigten sich neben NaBr die Linien der chemisch ungewöhnlichen Verbindung Na_2Br . Weiter ergaben quantitative Intensitätsmessungen an den sich zum Teil überlagernden Gruppen für BaO und für BaOH den Beweis für die Richtigkeit der Deutung, sowie einen Hinweis für die Entstehung dieser zunächst fraglichen Linien. Schließlich konnten mehrere zum Teil nur in Spuren vorhandene Elemente leicht durch Messung des Dublettabstandes ihrer Isotope mit Kohlenwasserstofflinien identifiziert werden.

*) Herrn Prof. Geiger zum 60. Geburtstag am 30. September 1942 gewidmet.

1) →

2) Hintenberger et al. Z. Naturforsch. A 1968, 1236
carbon arc → $\leq C_{33}^+$

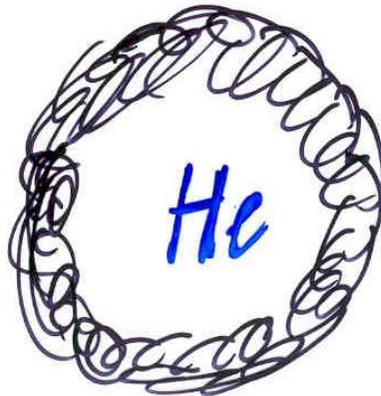


Extraterrestrial Helium Trapped in Fullerenes in the Sudbury Impact Structure

Luann Becker,* Robert J. Poreda, Jeffrey L. Bada

Fullerenes (C_{60} and C_{70}) in the Sudbury impact structure contain trapped helium with a $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio of 5.5×10^{-4} to 5.9×10^{-4} . The $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio exceeds the accepted solar wind value by 20 to 30 percent and is higher by an order of magnitude than the maximum reported mantle value. Terrestrial nuclear reactions or cosmic-ray bombardment are not sufficient to generate such a high ratio. The $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in the Sudbury fullerenes are similar to those found in meteorites and in some interplanetary dust particles. The implication is that the helium within the C_{60} molecules at Sudbury is of extraterrestrial origin.

Science 272, 249 (1996)



House of Lords, December 1991

Lord Campbell of Alloway:

My Lords, what does the molecule do?

Lord Ray:

My Lords, it is thought that it may have several possible uses: for batteries, as a lubricant or as a semi-conductor. All that is speculation...

It may turn out to have no uses at all.

Earl Russel:

My Lords, can one say that it does nothing in particular and does it very well?

Lord Reay:

My Lords, that may well be the case.

SCIENTIFIC AMERICAN

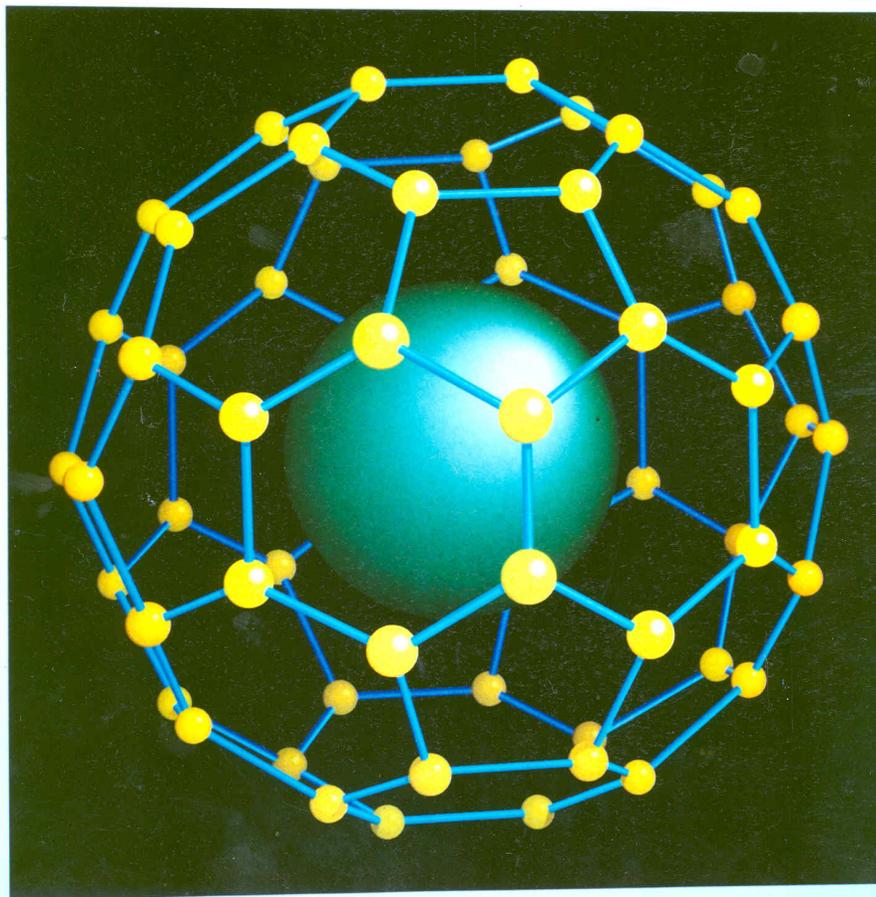
OCTOBER 1991
\$3.95

Remnants of a planet that failed to form.

Still no technological fix for oil spills.

What made higher life-forms possible?

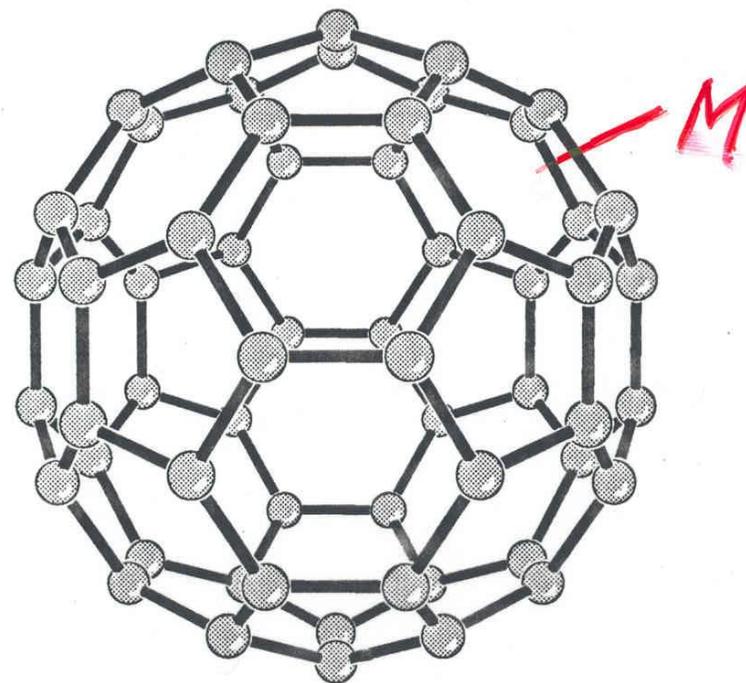
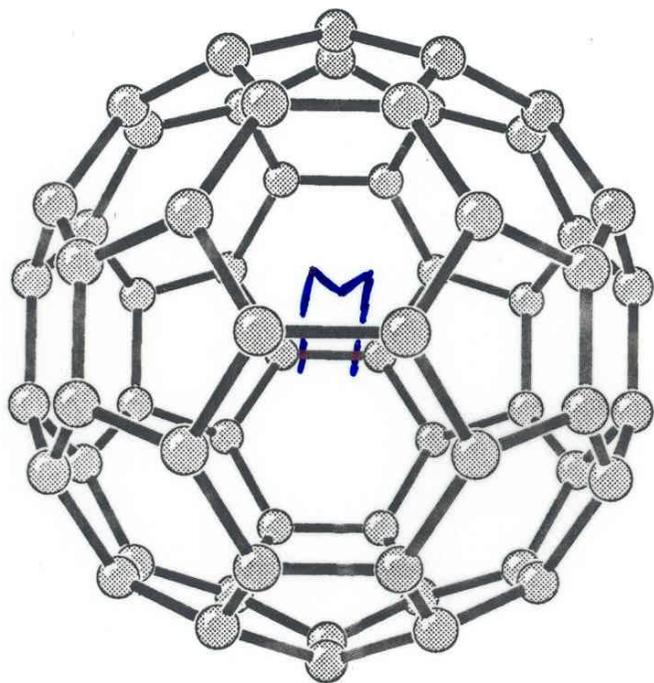
By



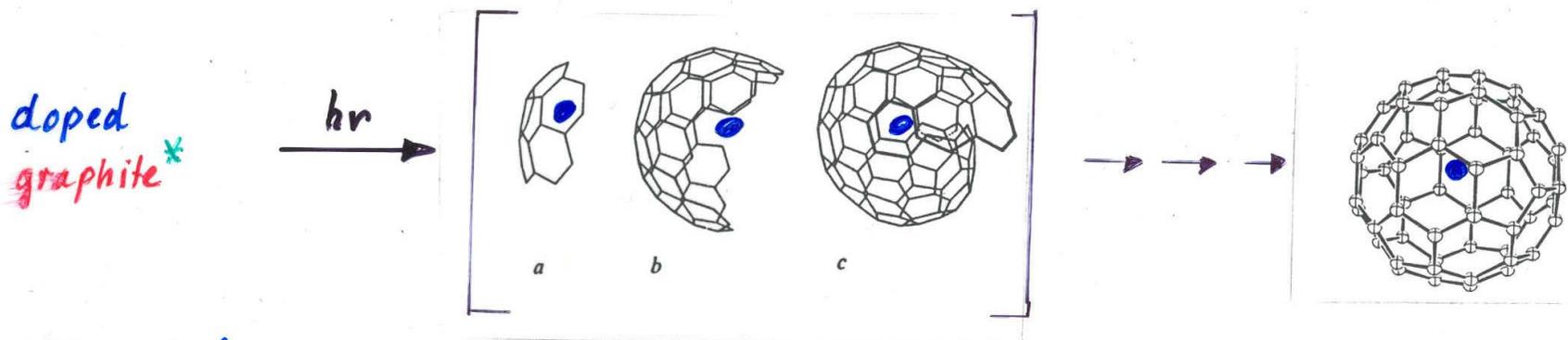
Buckyball, the third form of pure carbon, cages an atom in its lattice.



Endo- versus *Exohedral* Carbon-Cluster Compounds



Endohedral clusters, $M@C_{60}$, by Laser vaporization of
doped graphite (Smalley)



• $\hat{=}$ metal
K, La, U,

Nucleation, growth,
pentagon rule, ...

$M@C_{60}$

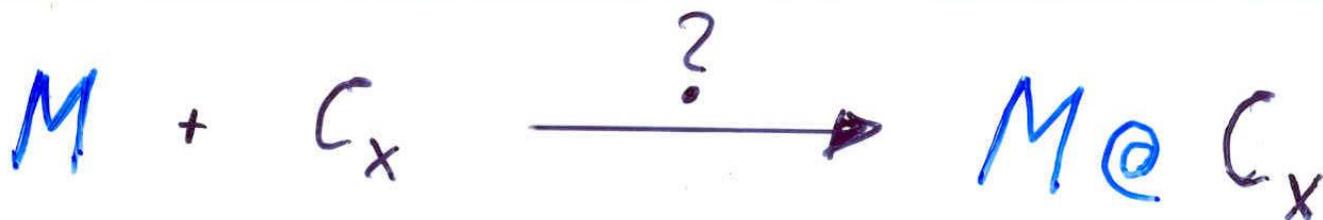
Example:

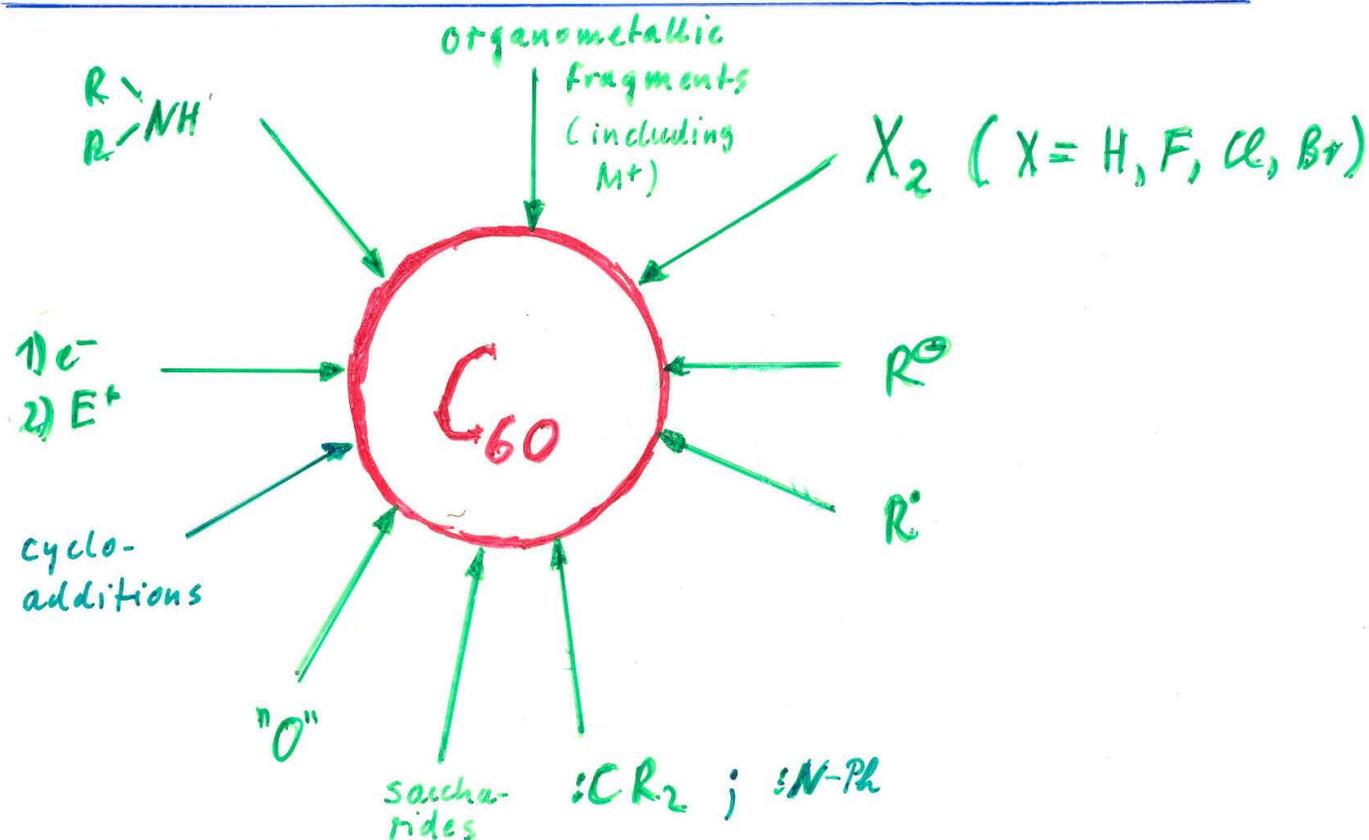


resistant against H_2O, NH_3 ;
soluble in toluene, ...

* or Laser vaporization in the
presence of volatile organometallics
as for example: $C/Fe(CO)_5/h\nu \rightarrow Fe@C_{60}$
(Rao)

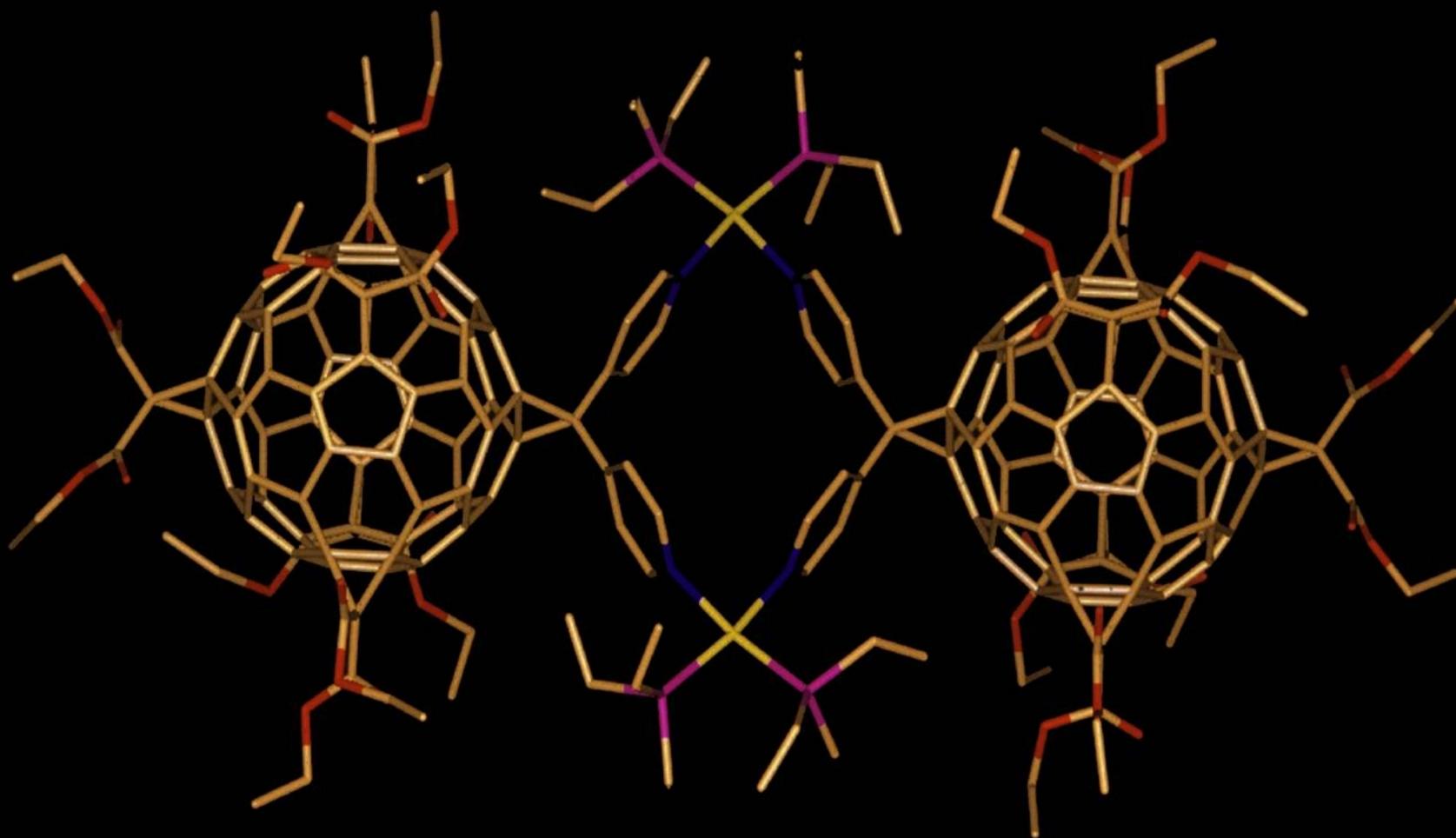
Can one generate endohedral
carbon clusters $M@C_x$
in a bimolecular reaction

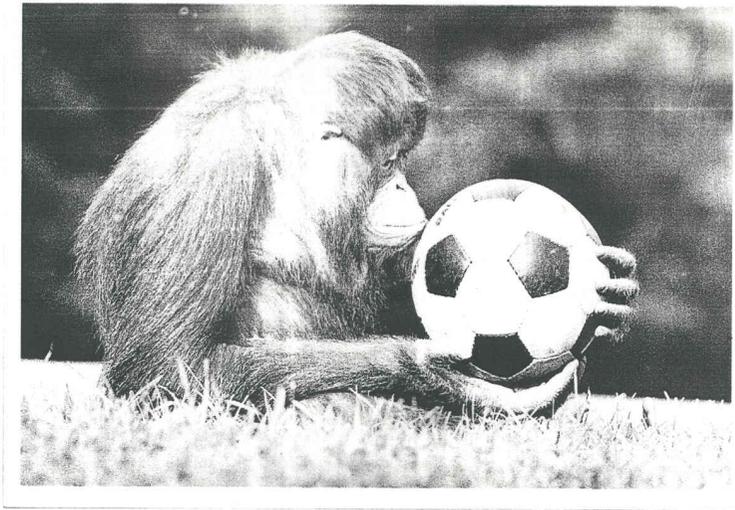




All conventional chemical transformations invariably occur at the outer face of fullerenes (\Rightarrow exohedral derivatives),
2003: > 10,000!! \longleftarrow 1998: > 4000(!) examples known

Crystal-Structure of the Pt(II) Dinuclear Cyclophane



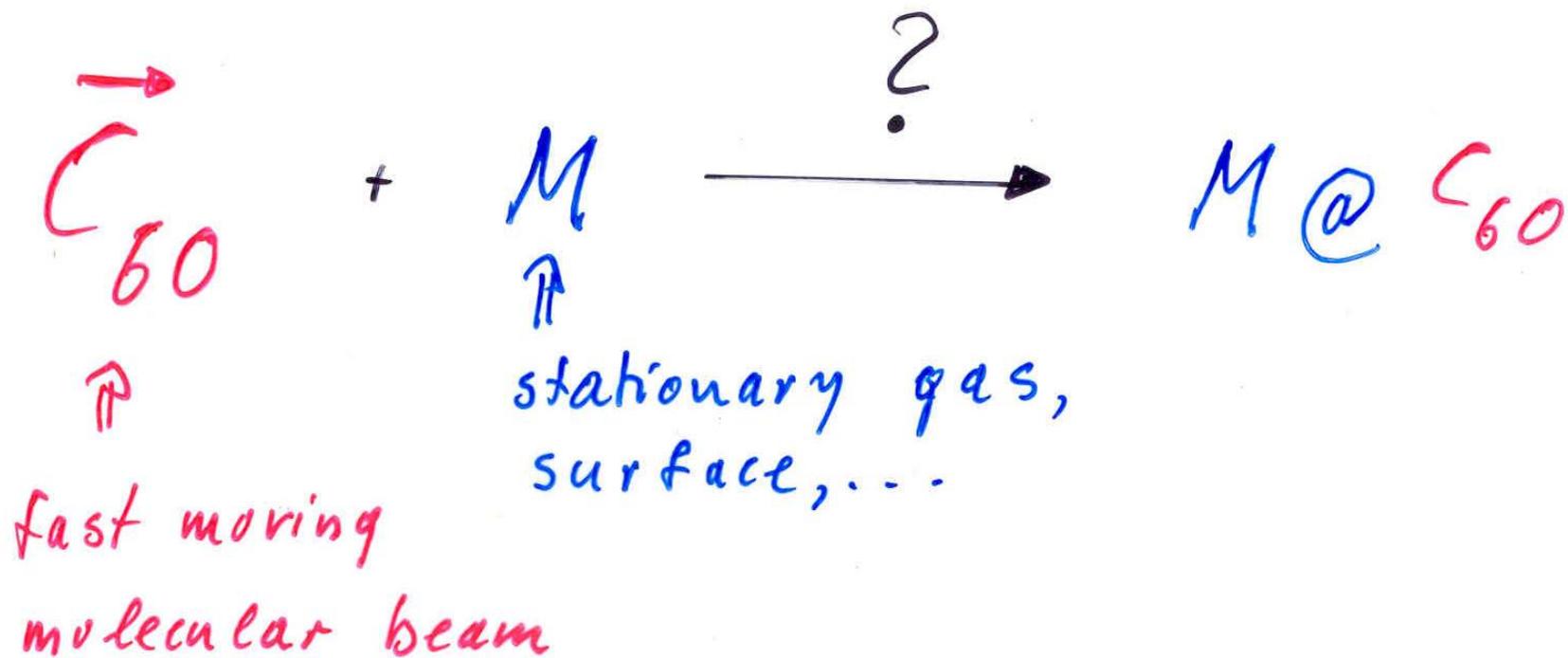


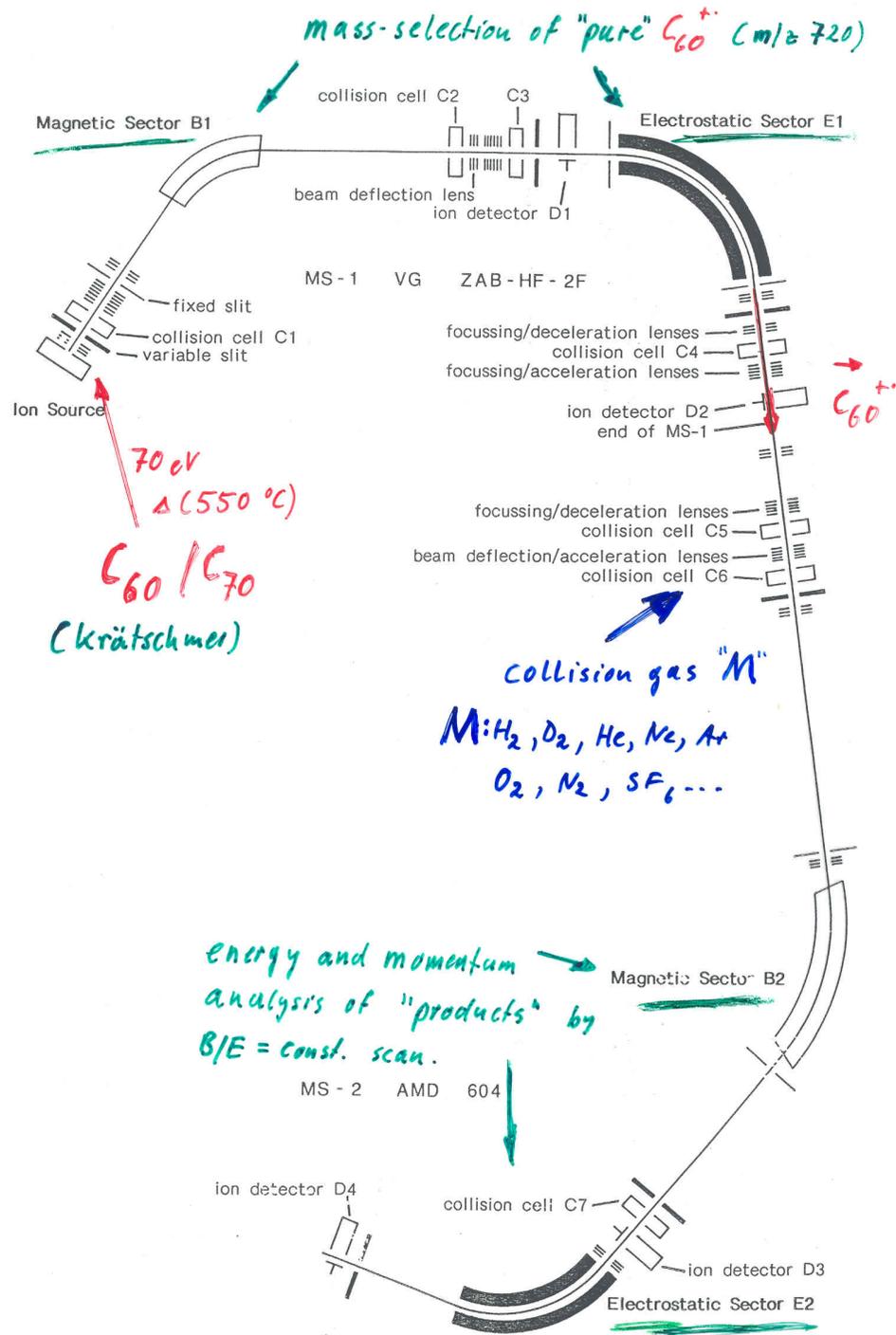
*"Man muß versuchen, bis zum Äußersten
ins Innere zu gelangen. Der Feind des
Menschen ist die Oberfläche..."*

(S. Beckett)



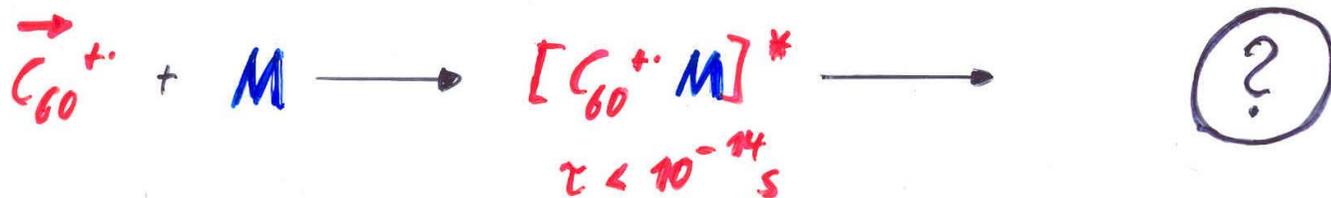
"de novo" Approach:





Endohedral Cluster Compounds:

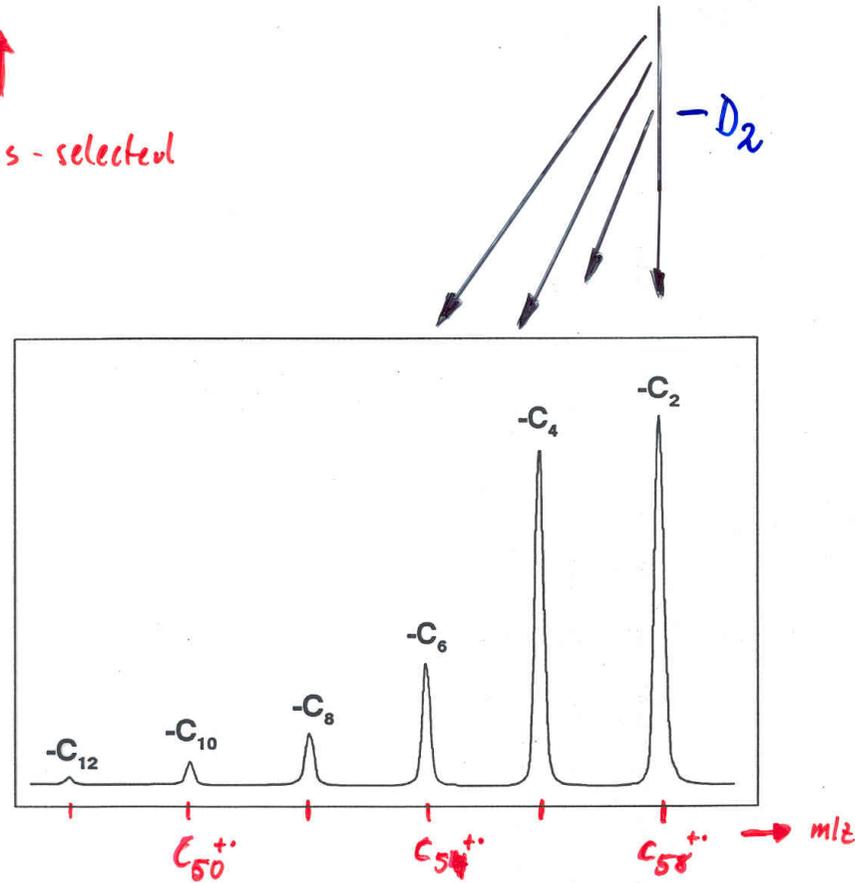
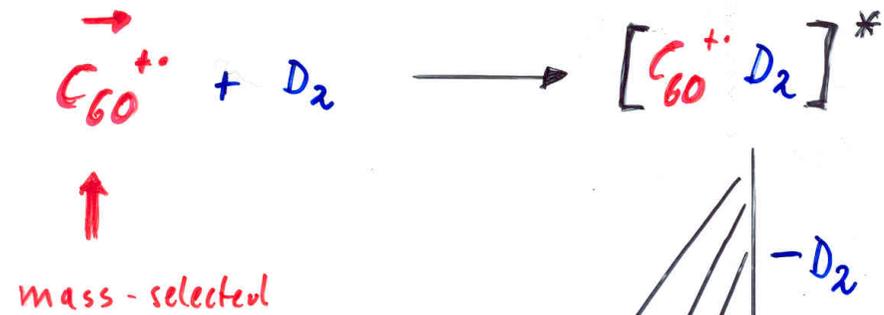
Collision experiments of \vec{C}_x^+ ($x=60, 70$) with stationary target gases M



Typically, one expects collision-induced dissociation:



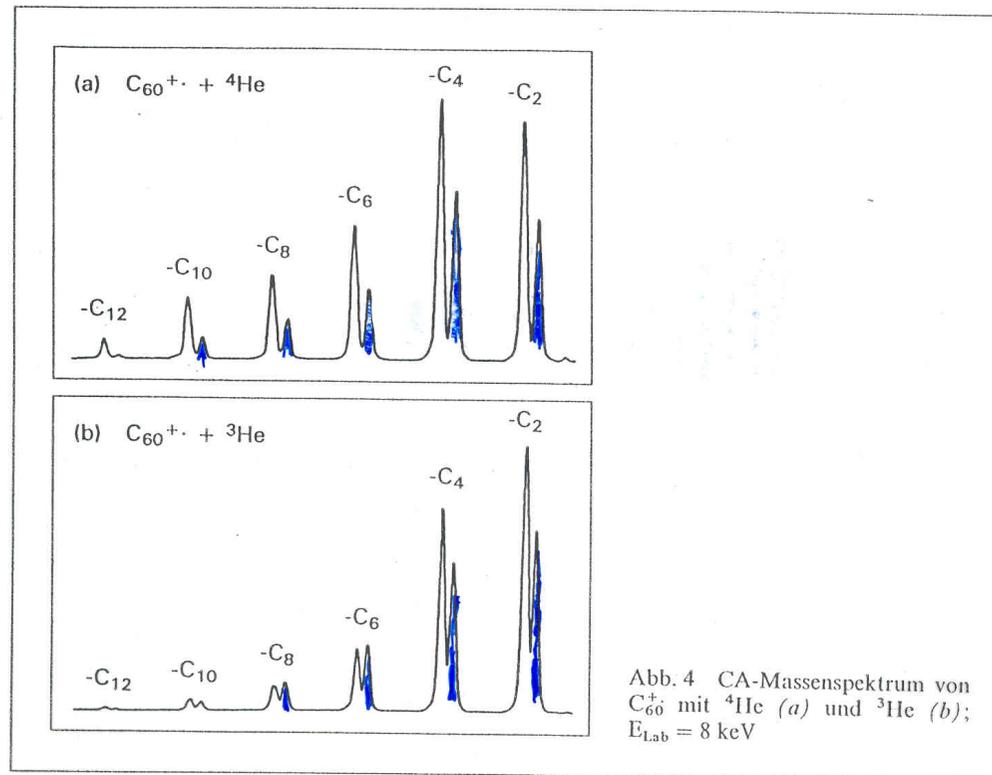
M : $H_2, D_2, O_2, N_2, Ar, SF_6, \dots$



↙ As "expected": NO incorporation of D₂.

The same result is observed for

H₂, Ar, O₂, N₂, SF₆, ...

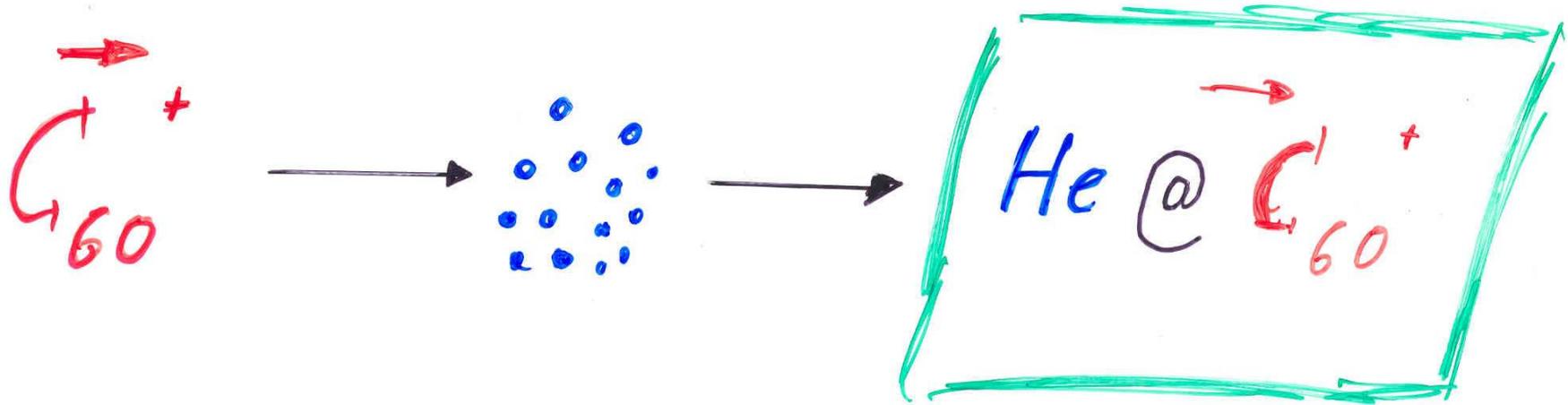


Massenzuwachs von $\Delta m = 4$ (4He)

bzw. $\Delta m = 3$ (3He)

\Rightarrow "Einfang" von Helium?

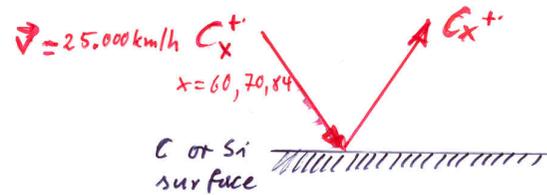
Ein fang von Helium (He) ohne
Zerfall ?



Fundamentale Probleme...

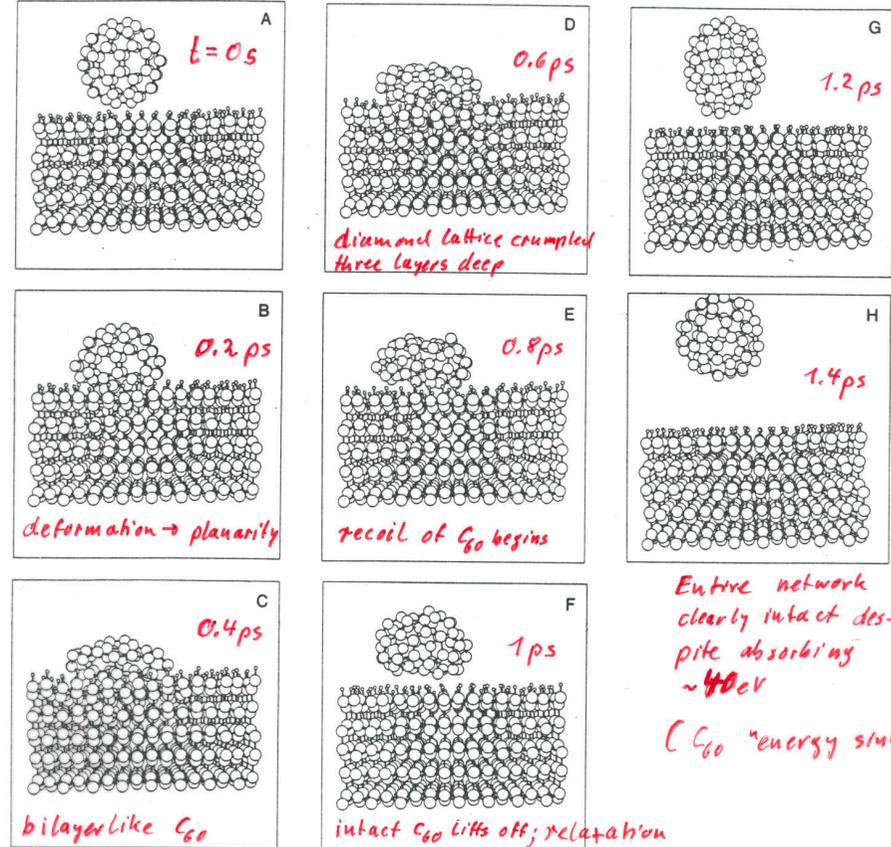
Resilience of Fullerenes (Whetten)

→ 1)

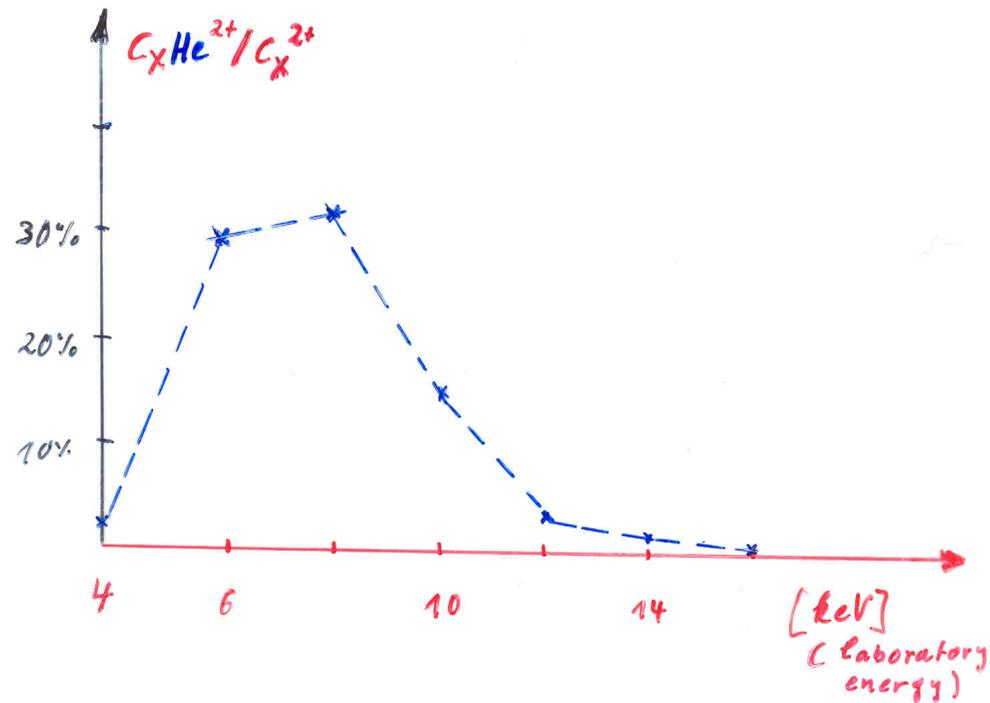


- 1) 90% of beam is neutralized
 - 2) 10% of C_x^+ returns intact
- 3) No fragmentation, even at impact energies $> 200 \text{ eV}$!

→ 2) Molecular dynamics simulation (Mowrey): $C_{60}/200 \text{ eV}/\text{diamond surf.}$



Efficiency of Helium Retention as a
Function of C_{60}^{2+} Kinetic Energy

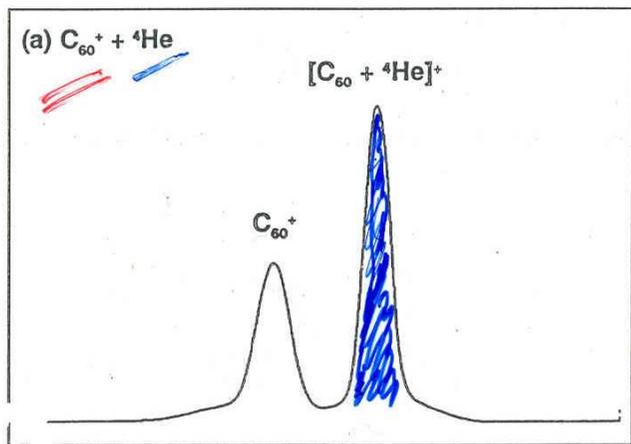


"Energy window" clearly points to the
existence of an activation barrier —

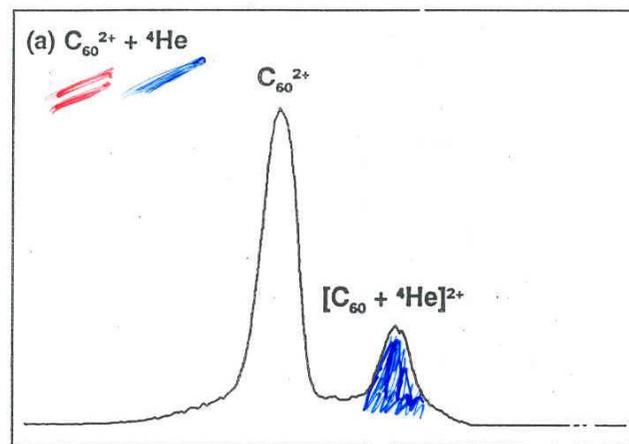
↪ A loose association is not compatible
with experiment.

Injection of ${}^4\text{He}$ in C_{60}^{n+} ($n=1,2$) WITHOUT Fragmentation

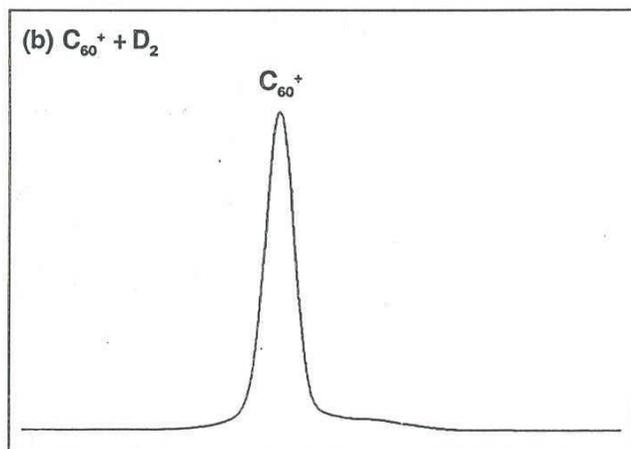
$E_{\text{LAO}} = 6 \text{ keV} \Rightarrow E_{\text{cm}} = 33 \text{ eV}$



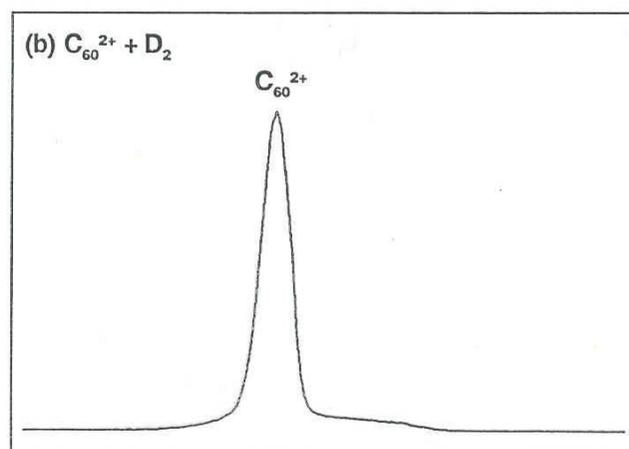
$\rightarrow m/z$



$\rightarrow m/z$



$\rightarrow m/z$



$\rightarrow m/z$

T. Weiske

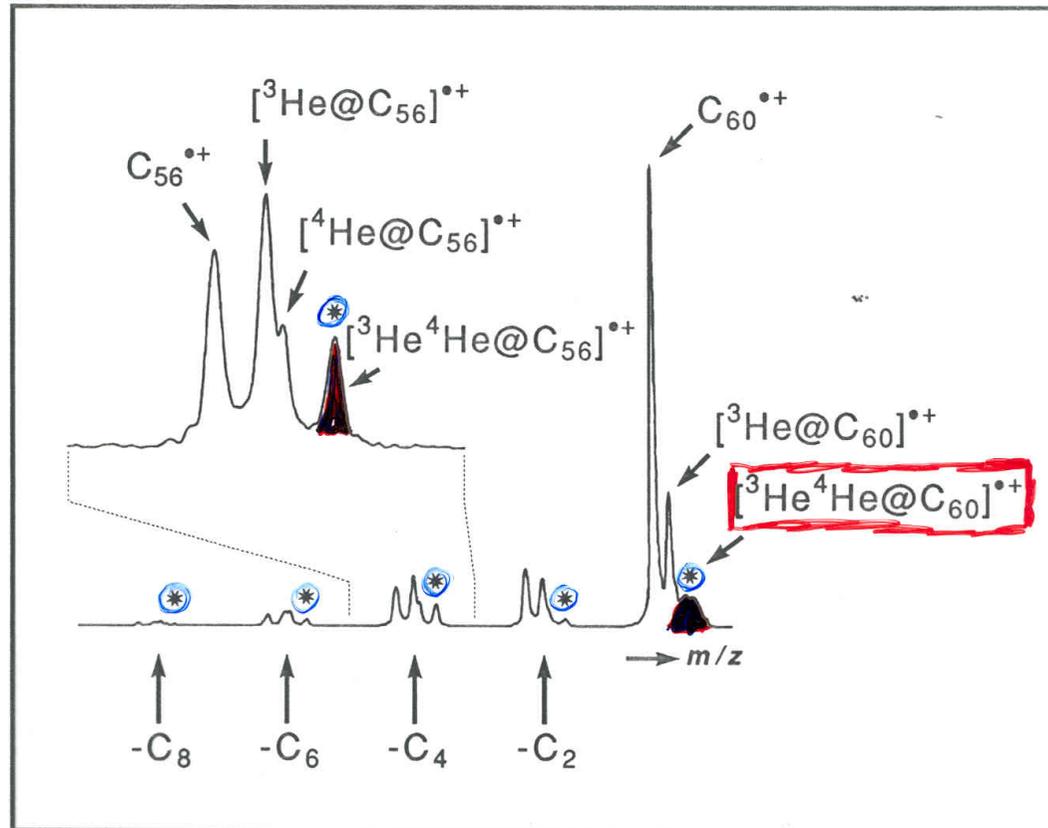
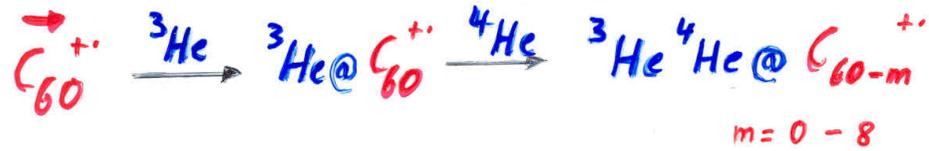
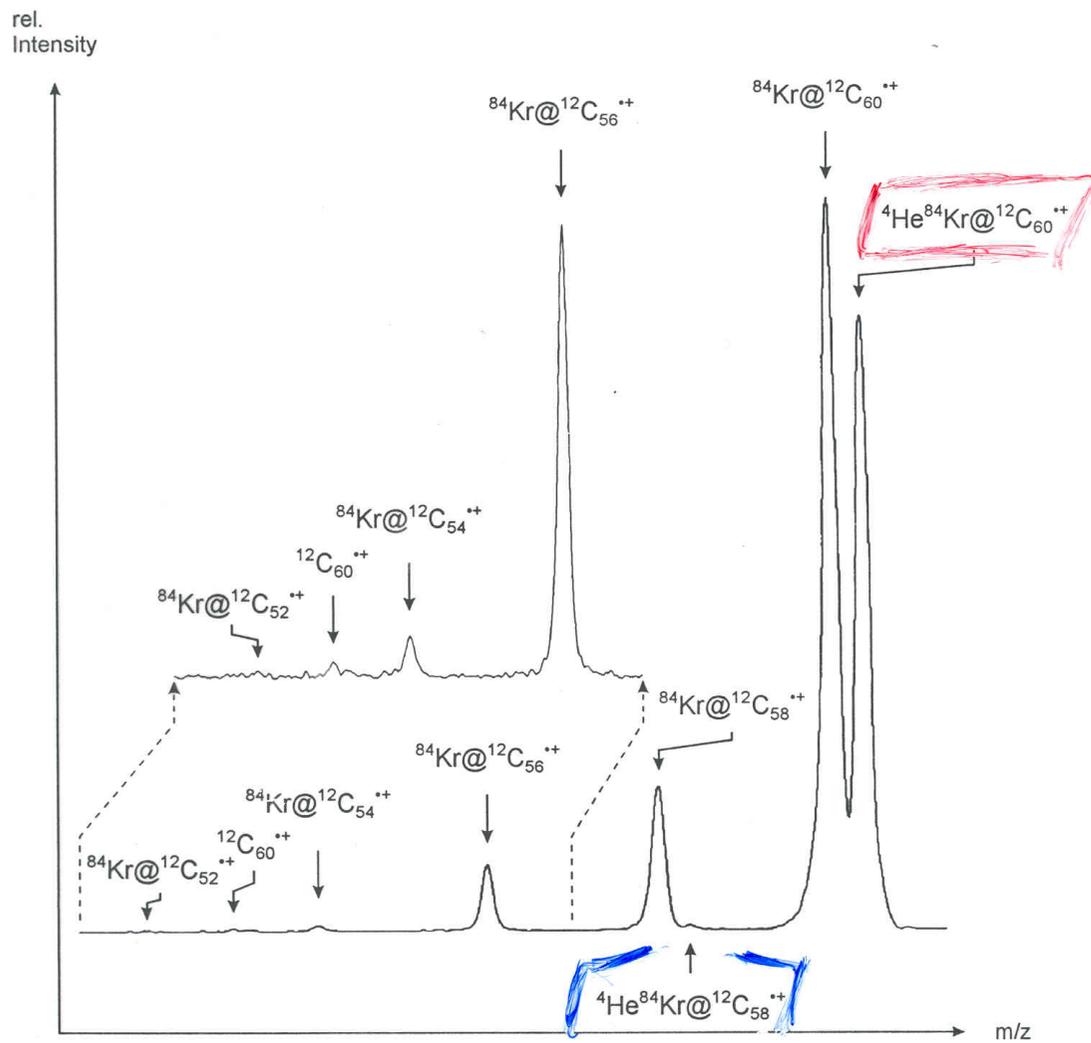


Abb. 1

⊛ contains
 ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$

Fig. 2

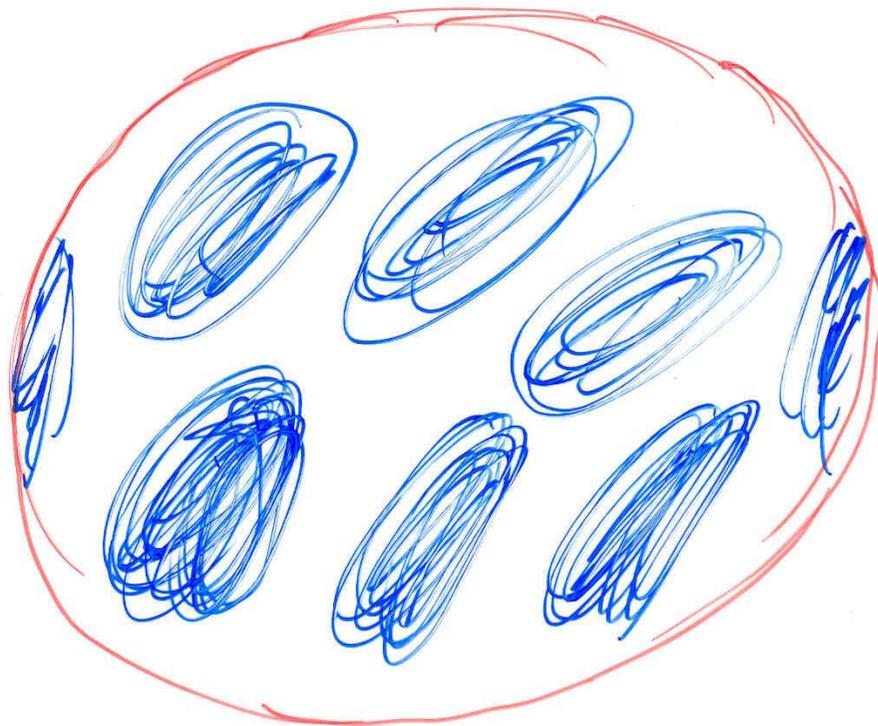


M.L. Cross
T. Weiske

$M_x @$ Fullerene —

Molekulare Zeppeline

(oder Unterseeboote)

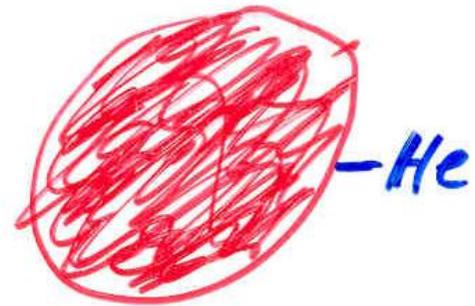


?

Binnendruck?

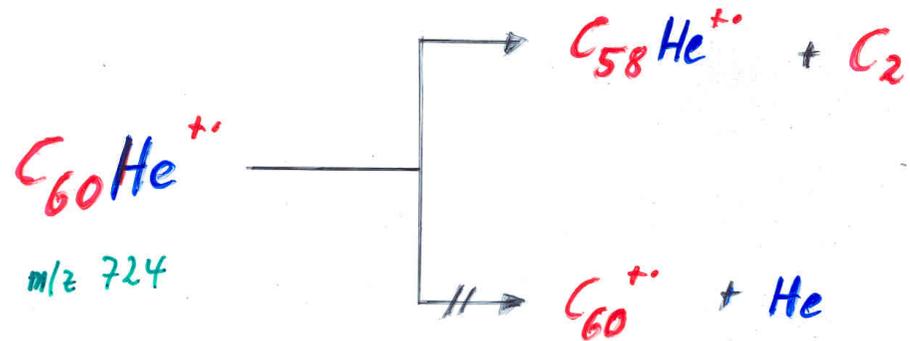
Location of Helium in $[C_{60-n}He]^+$ and $[C_{60}He]^+$

① Deflated Sphere

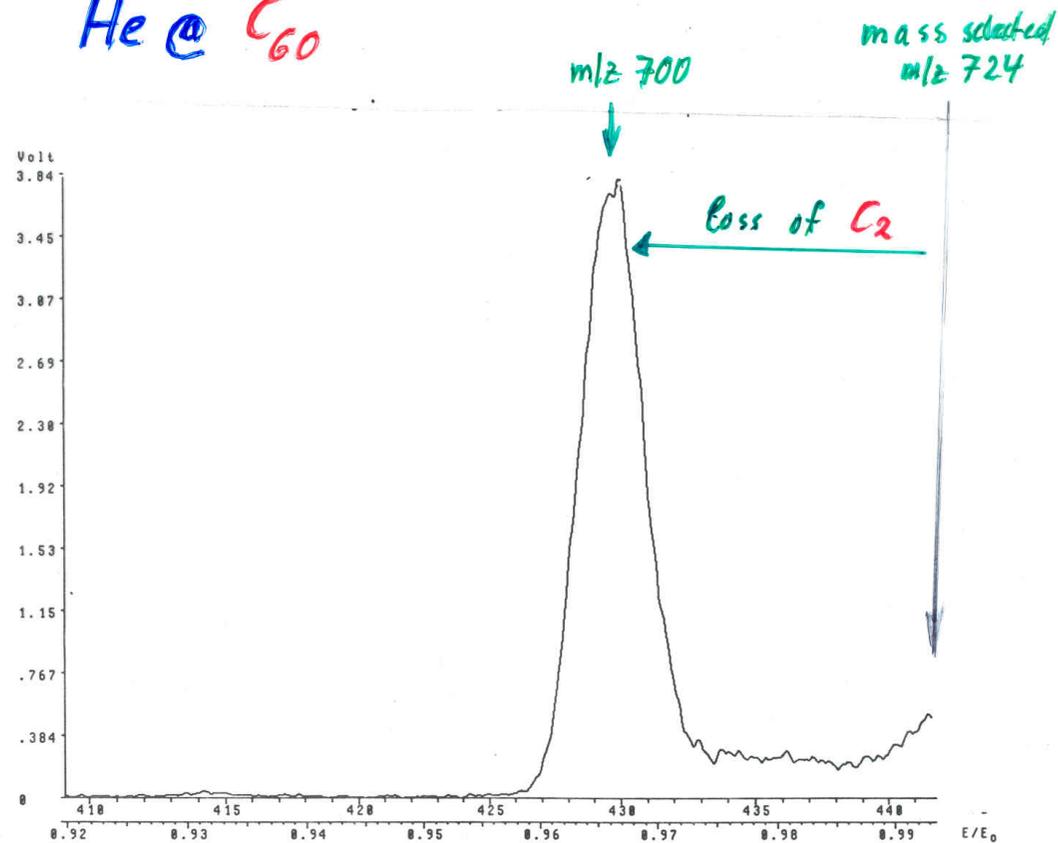


② Endohedral Complex



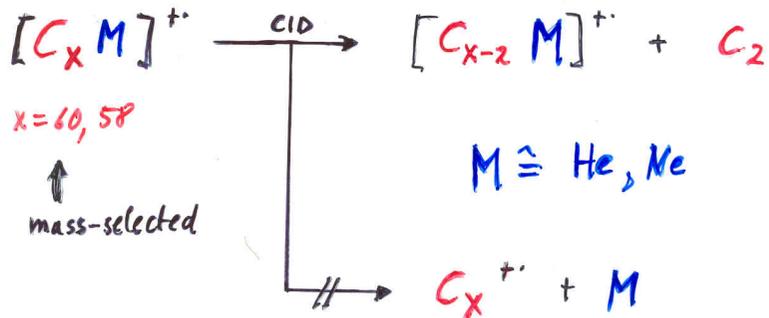


\downarrow He @ C_{60}^{++}

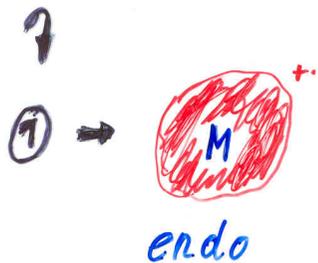
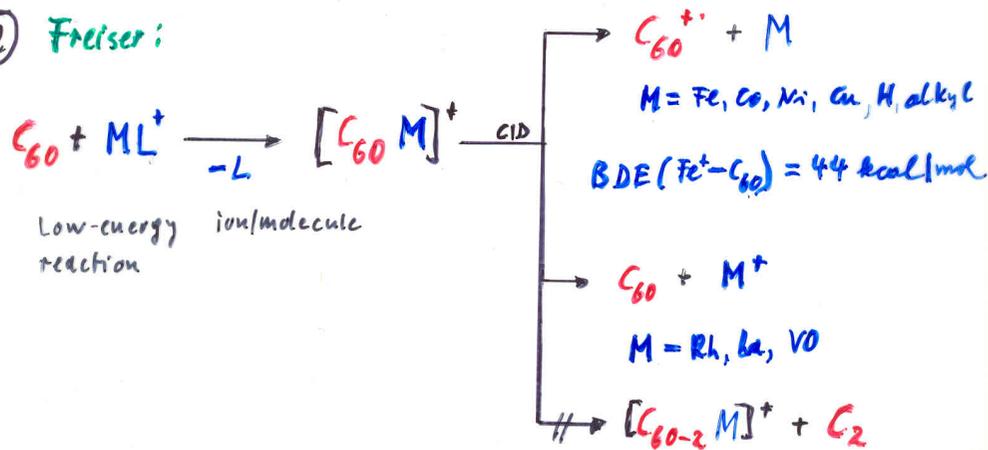


Location of M

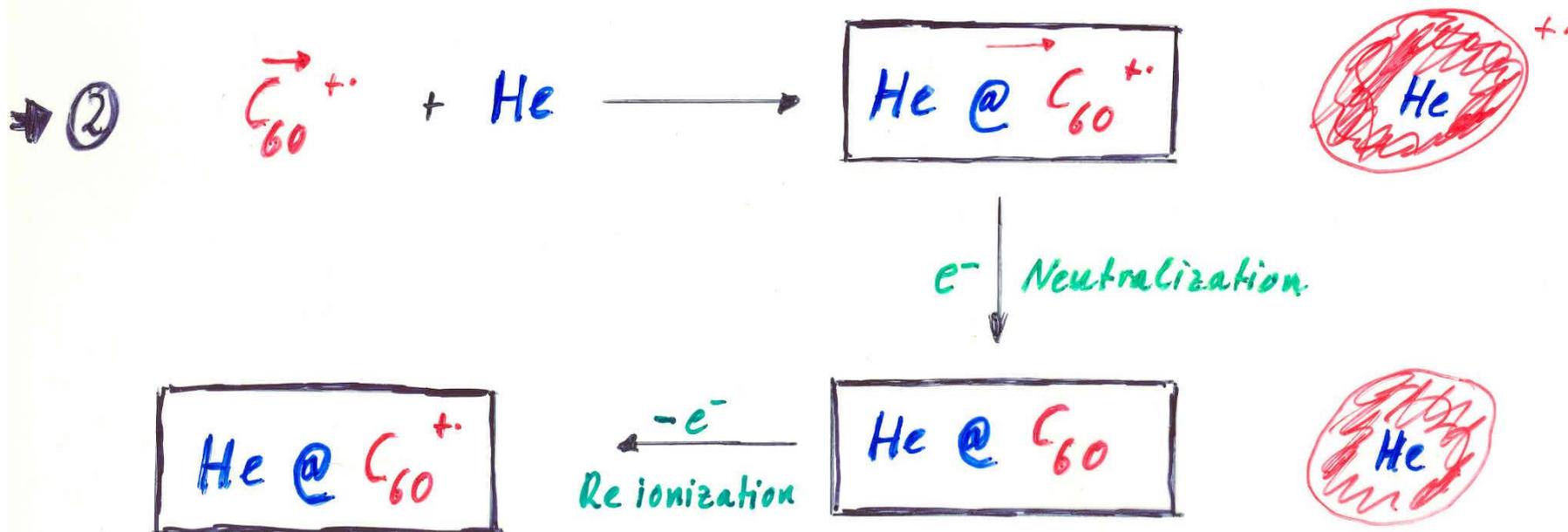
① TU Berlin:



② Fretzer:

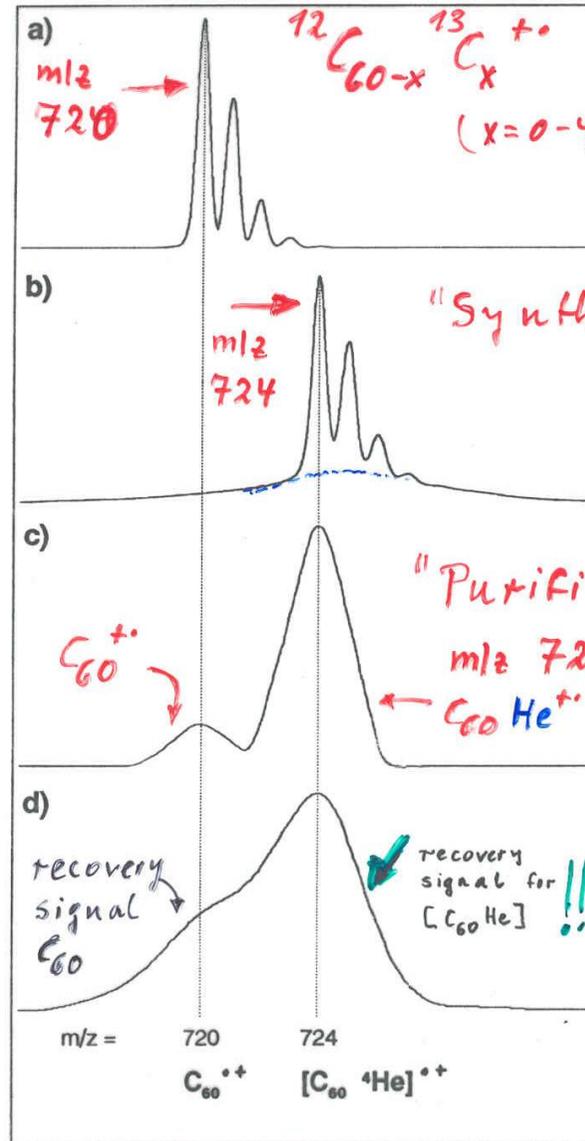
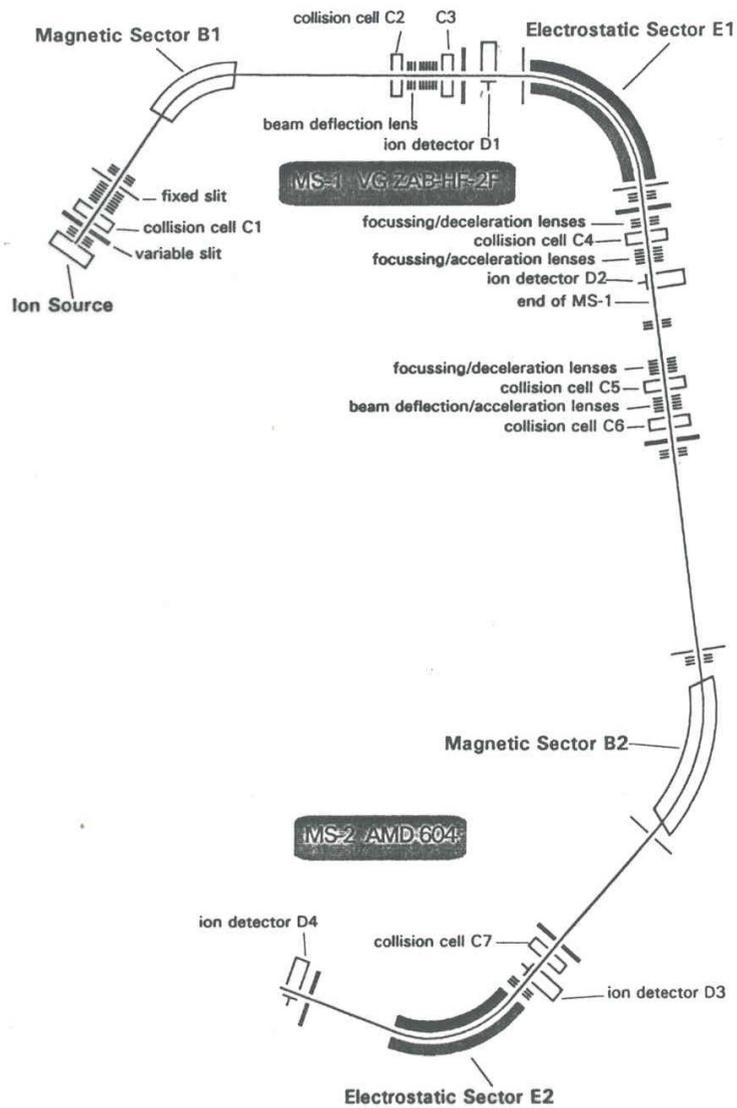


What about NEUTRAL He @ C₆₀ ?



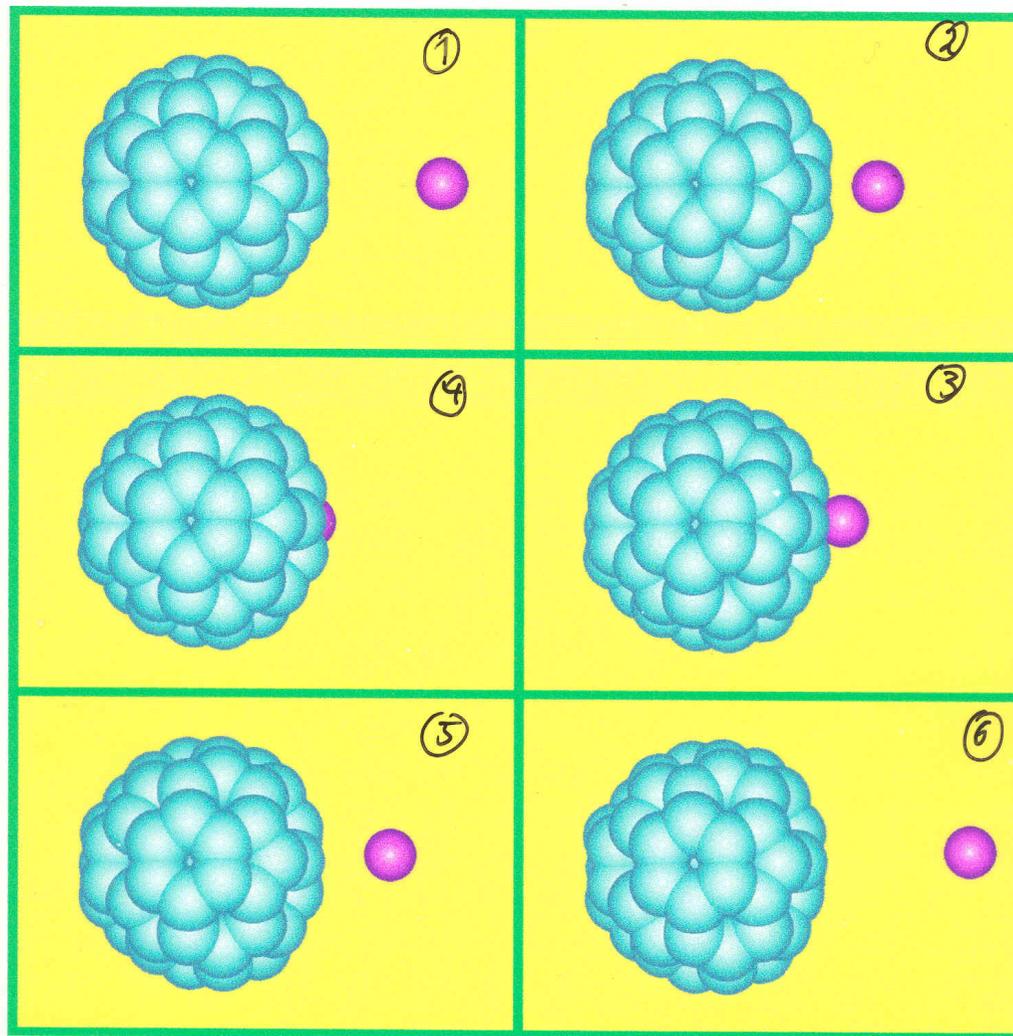
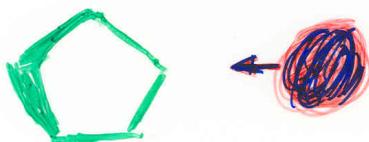
Expectation: Recovery signal for endohedral complex only !

The Search for Endohedral He @ C₆₀



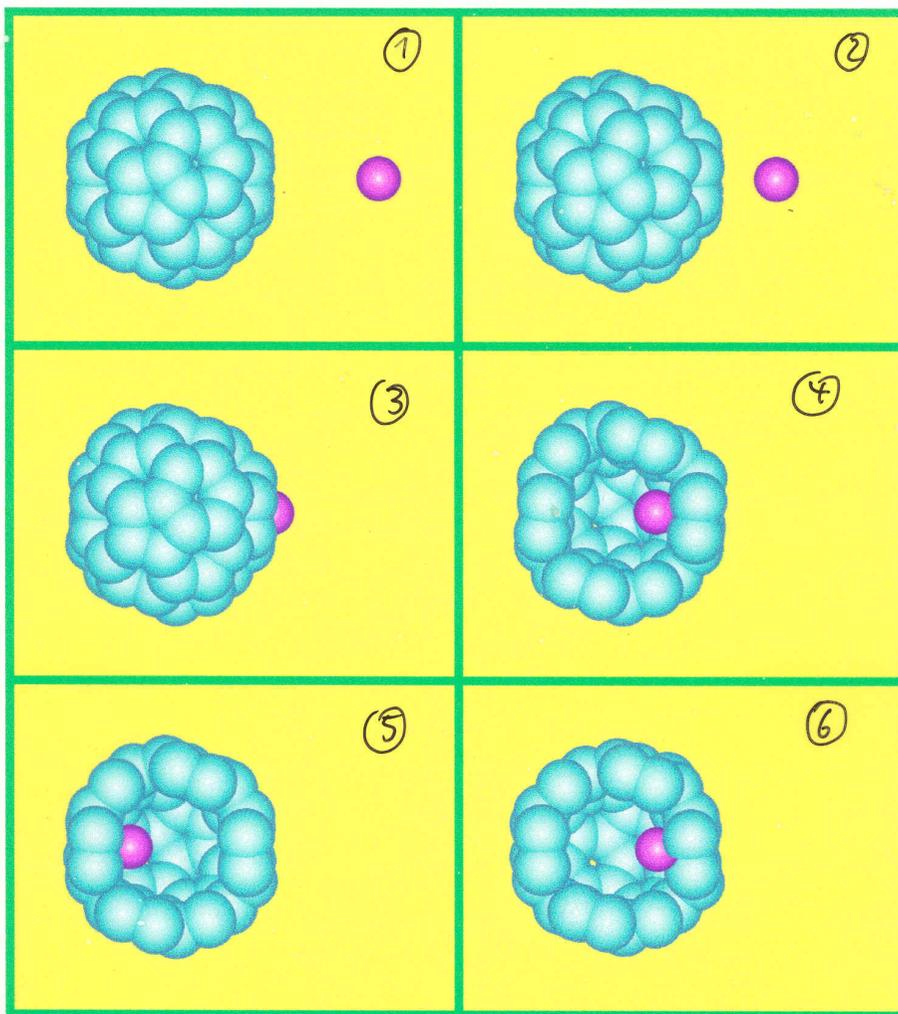
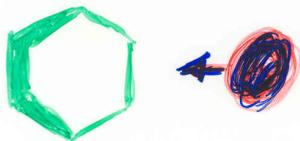
6.3 ions/peak
400 scans averaged

NRMS
He $\tau > 10^4$
and NOT
He



Central collision of He (370Å/ps) onto a pentagon of C₆₀ (at rest)

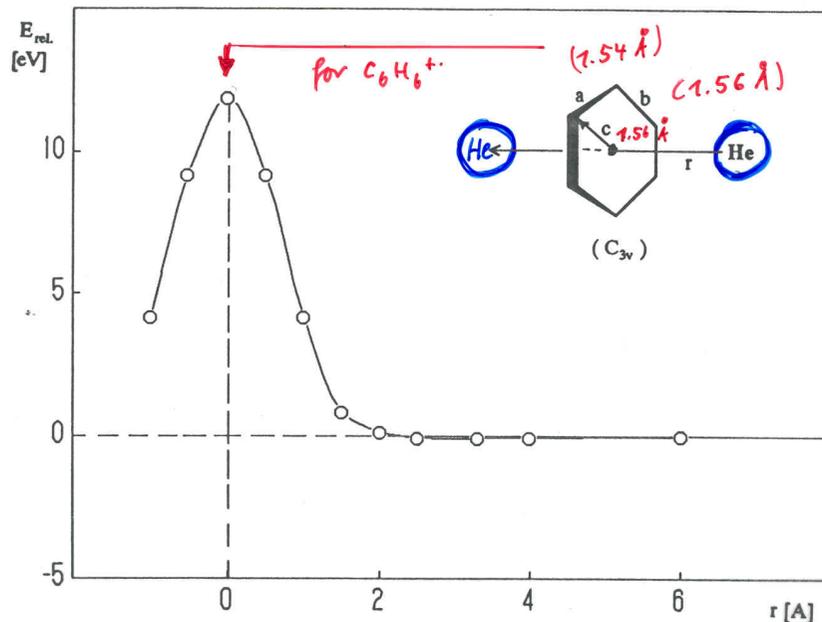




Central collision of He ($370\text{\AA}/\text{ps}$) onto a hexagon of C_{60} (at rest)

 
c. 130.000 km/h

ab initio MO calculations for the
 C_{3v} -symmetric penetration of C_6H_6 / $C_6H_6^+$
 by Helium



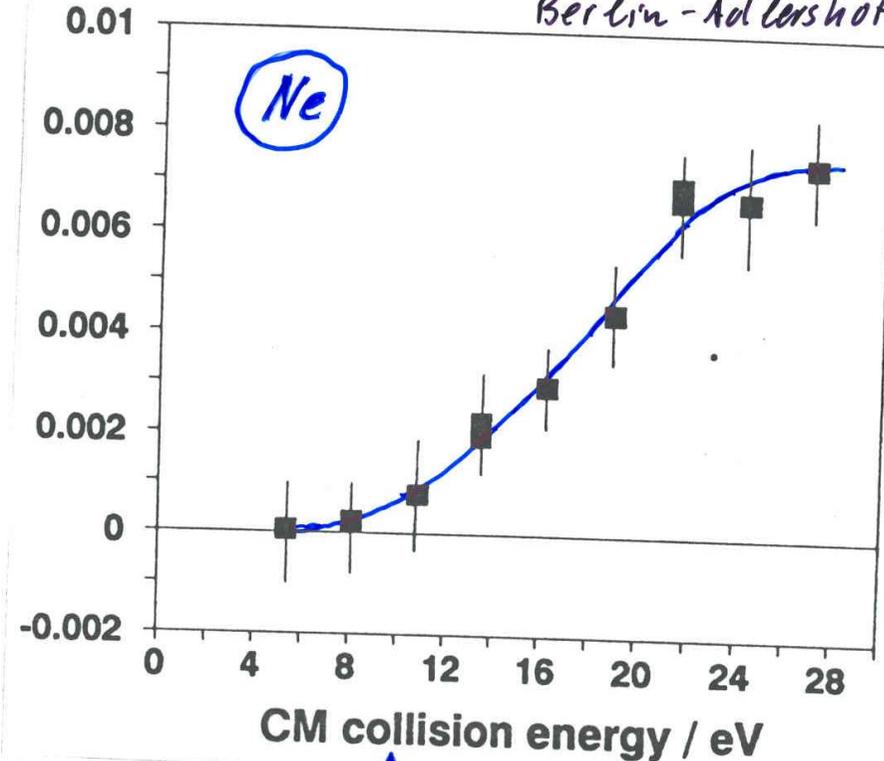
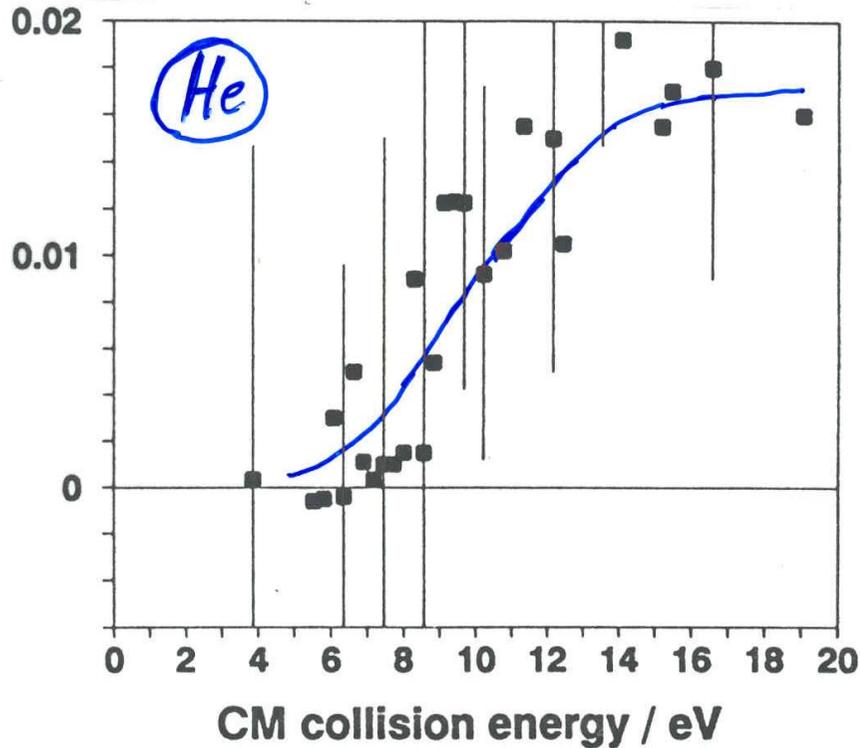
	Barrier, Erel, [eV]	
	3-21G**/3-21G*	MP2/6-31G**// MP2/1-3-21G*
He/ C_6H_6	12.4	10.7
He/ $C_6H_6^+$	11.8	9.4

→ J. Hrušák

Molecular mechanics calculations (Ross et al.)
 for C_{60}/He (penetration of hexagon) $\Rightarrow 9.35$ eV

Threshold determination for He and Ne capture by \vec{C}_{60}^{+}

(Campbell)
Max Born Institut
Berlin-Adlershof



↑
 6 ± 2 eV

for $N @ \vec{C}_{60}^{+}$

↑
 9 ± 1 eV

⇒ [Threshold $\propto \epsilon_{60}$ -internal energy]

G. Henschel.

1

Lessings Werke

D. Faust.

II. Dritte Scene des zweiten Aufzugs.

Faust und sieben Geister.

Faust. Ihr? Ihr seid die schnellsten Geister der Hölle?

Die Geister alle. Wir.

Faust. Seid ihr alle sieben gleich schnell?

Die Geister alle. Nein.

Faust. Und welcher von euch ist der schnellste?

Die Geister alle. Der bin ich!

Faust. Ein Wunder! daß unter sieben Teufeln nur sechs Eigner sind. — Ich muß Euch näher kennen lernen.

Der erste Geist. Das wirst du! Einst!

Faust. Einst! Wie meinst du das? Prebigen die Teufel auch Duse? Der erste Geist. Ja wohl, den Verstockten. — Aber halte uns nicht auf.

Faust. Wie heißt du? Und wie schnell bist du?

Der erste Geist. Du könntest eher eine Probe als eine Antwort haben.

Faust. Nun wohl. Sieh her; was mache ich?

Der erste G. Du fährst mit deinem Finger schnell durch die Flamme des Lichts.

Faust. Und verbrenne mich nicht. So geh auch du und fahre siebenmal eben so schnell durch die Flammen der Hölle, und verbrenne dich nicht.

— Du verstummst? Du bleibst? — So prahlen auch die Teufel?

Ja, ja, keine Sünde ist so klein, daß ihr sie euch nehmen liebet. —

Zweiter, wie heißt du?

D. zw. G. Ehil; das ist in eurer langweiligen Sprache: Pfeil der Pest.

Faust. Und wie schnell bist du?

Der zweite Geist. Denkst du, daß ich meinen Namen vergebens führe?

— Wie die Pfeile der Pest.

Faust. Nun so geh und diene einem Arzte! Für mich bist du viel zu langsam. — Du dritter, wie heißt du?

Der dritte Geist. Ich heiße Dilla, denn mich tragen die Fügel der Winde.

Faust. Und du vierter?

Der vierte Geist. Mein Name ist Tutta, denn ich fahre auf den Strahlen des Lichts.

Faust. O ihr, deren Schnelligkeit in irdischen Zahlen auszubilden, ihr Glenden! —

Der fünfte Geist. Würdige sie keines Unwillens nicht. Sie sind nur Satans Boten in der Körperwelt. Wir sind es in der Welt der Geister; uns wirst du schneller finden.

Faust. Und wie schnell bist du?

Der fünfte Geist. So schnell als die Gedanken des Menschen.

Faust. Das ist etwas! — Aber nicht immer sind die Gedanken des Menschen schnell. Nicht da, wenn Wahrheit und Tugend sie auffordern.

Wie träge sind sie alsdann! — Du kannst schnell sein, wenn du schnell sein willst; aber wer steht mir dafür, daß du es allezeit willst. Nein, dir werde ich so wenig trauen, als ich mir selbst hätte trauen sollen.

Ach! — (Zum sechsten Geiste.) Sage du, wie schnell bist du? —

Der sechste Geist. So schnell als die Rache des Rächers.

Faust. Des Rächers? Welches Rächers?

Der sechste Geist. Des Gewaltigen, des Schrecklichen, der sich allein die Rache vorbehielt, weil ihn die Rache vergnügte. —

Faust. Teufel! du lästerst, denn ich sehe, du zitterst. — Schnell,

sagst du, wie die Rache des — halb hätte ich ihn genannt! Nein, er werde nicht unter uns genannt! — Schnell wäre seine Rache?

Schnell? — Und ich lebe noch? Und ich sündige noch? —

Der sechste Geist. Daß er dich noch sündigen läßt, ist schon Rache!

Faust. Und daß ein Teufel mich dieses Lehren muß! — Aber doch erst heute! Nein, seine Rache ist nicht schnell, und wenn du nicht schneller bist als seine Rache, so geh mir. (Zum siebenten Geiste.) — Wie schnell bist du?

Der siebente Geist. Unzuverlässiger Sterbliche, wo auch ich dir nicht schnell genug bin. —

Faust. So sage, wie schnell?

Der siebente Geist. Nicht mehr und nicht weniger, als der Uebergang vom Guten zum Bösen. —

Faust. Hal du bist mein Teufel! So schnell als der Uebergang vom Guten zum Bösen! — Ja, der ist schnell; schneller ist nichts als der! — Weg von hier, ihr Schmieden des Dorns! Weg! —

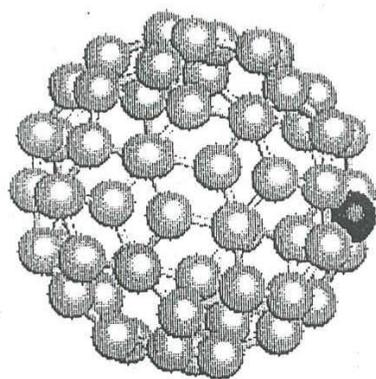
Als der Uebergang vom Guten zum Bösen! Ich habe es erfahren, wie schnell er ist! Ich habe es erfahren! u. s. w.

Molecular Dynamics Calculations for the reaction:

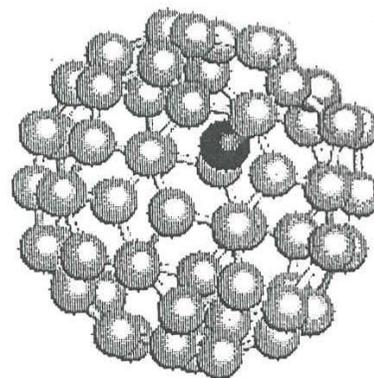


$E_{cm} = 22 \text{ eV}$

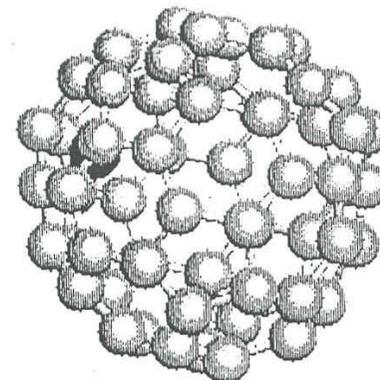
$t \text{ [fs]}$



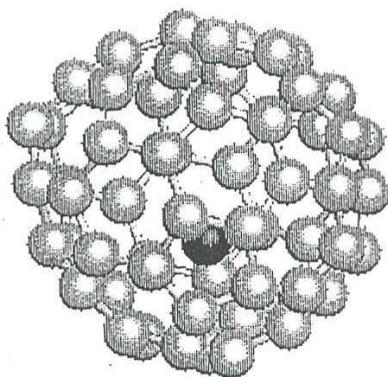
a) 52



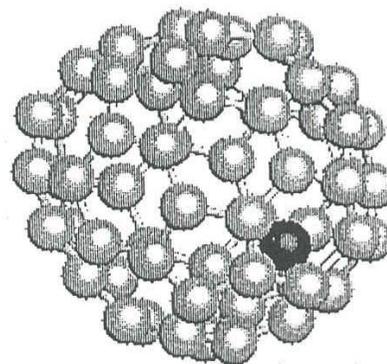
b) 68



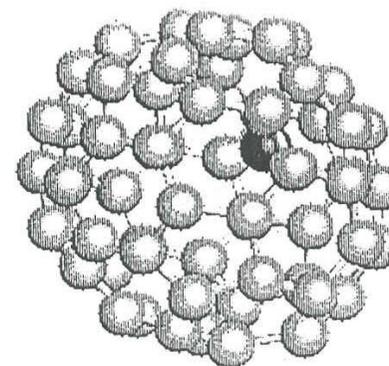
c) 86



d) 103



e) 117



f) 134

Figure 2

"Of what use is a beautiful poem?",
critics may wonder.

It gives intellectual stimulation and
enjoyment. Similarly with **basic research**.
If the latter has some practical use, that
is merely 'icing on the cake'.

A. G. MacDiarmid

Nobel Prize for Chemistry, 2000

Science 2000,
S. 656

Ein supraleitender Transistor

Widerstandsloser Stromfluss durch dotierte Kohlenstoff-Moleküle

Das aus 60 Kohlenstoffatomen bestehende Buckminsterfulleren-Molekül besitzt ungewöhnliche elektrische Eigenschaften. Unter bestimmten Bedingungen wird es zum Supraleiter. Dann fließt in ihm der elektrische Strom ohne jeglichen Widerstand. Dass man dieses Verhalten gezielt ein- und ausschalten kann, haben kürzlich Wissenschaftler von den Bell Laboratories der Lucent Technologies in Murray Hill/New Jersey herausgefunden.

Das Kohlenstoffmolekül, dessen 60 Kohlenstoffatome die Eckpunkte von aneinander stoßenden Fünf- und Sechsecken bilden, ist vor 15 Jahren entdeckt worden. Da jedes der Pentagone nur von Hexagonen umgeben ist, gleicht es einem Fußball. Unter normalen Bedingungen ist das Buckminster-Fulleren ein gewöhnlicher Isolator. Schleust man in sein Inneres aber Fremdatome wie Natrium oder Kalium ein, dann wird es zum Leiter. Die Alkaliatome geben Elektronen an das Molekül ab. Kühlt man das dotierte Fulleren auf eine Temperatur in der Nähe des absoluten Nullpunkts von minus 273 Grad, dann wird es sogar supraleitend.

Die Forscher um Bertram Batlogg und Robert Haddon haben diese Tatsache zum Bau eines Schalters genutzt, der bei Raumtemperatur wie ein herkömmlicher Feldeffekt-Transistor arbeitet. Bei tiefen Temperaturen lässt er sich aber zwischen nichtleitendem und supraleitendem Zustand hin- und herschalten.

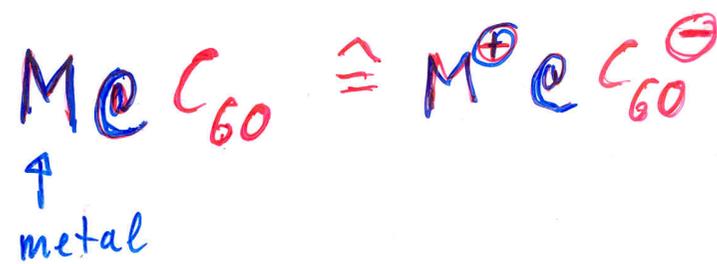
Der neue Transistor besteht aus einem wenige Millimeter großen, mit Fremdatomen dotierten Fulleren-Kristall, den man mit zwei Metallkontakten versehen hat.

Der Kristall und die Elektroden sind mit einer dünnen Aluminiumoxyd-Schicht überzogen, auf der sich eine Steuerelektrode befindet. Durch Anlegen einer Spannung an diese Elektrode lässt sich wie bei einem herkömmlichen Transistor der Strom kontrollieren, der zwischen den Metallkontakten und dem Kristall fließt. Als die Forscher den Transistor auf eine Temperatur von fünf Kelvin kühlten und die Spannung der Steuerelektrode auf rund 200 Volt erhöhten, sank der elektrische Widerstand des Kristalls plötzlich drastisch. Zwischen den Metallkontakten floss der Strom nun ohne jeglichen Widerstand („Science“, Bd. 288, S. 656).

Offenbar werden den Fullerenen durch die positive Spannung an der Steuerelektrode weitere Elektronen zugeführt, die dann zusammen mit den Elektronen der eingebauten Alkaliatome den supraleitenden Stromfluss ermöglichen. Im Mittel befinden sich drei Elektronen auf jedem Molekül. Allerdings trägt zur Supraleitung nur die oberste Lage von Fullerenen des Kristalls bei.

Nach Ansicht der Forscher ließe sich der neuartige Schalter in Computern oder elektrischen Sensoren verwenden. Ein widerstandsloser Stromfluss könnte die Schaltgeschwindigkeiten dieser Geräte deutlich erhöhen. Da der Transistor zurzeit allerdings nur bei extrem tiefen Temperaturen funktioniert, ist die technische Anwendung derzeit noch deutlich eingeschränkt. Die Wissenschaftler wollen deshalb Schalter entwickeln, die schon bei wesentlich höheren Temperaturen zum Supraleiter werden.

FRZ
7.6.2000 mli





"Scientific progress on a broad front results from the free interplay of free intellects, working on subjects of their own choice, in the manner dictated by their curiosity for exploration of the unknown."

Vannevar Bush, 1945

Scientific adviser to President Roosevelt

„Beauty is truth, truth is beauty - that is all“ J. Keats, Rome 1820

