

報告番号

第1070号

主論文の要旨

題名 放射線による絶縁性液体の電離に関する研究

氏名 中山 義

放射線による気体の電離は、1イオン対を生成するのに必要なエネルギー、いわゆるW値、によって特徴づけられる。このW値は、希ガスではそのイオン化ポテンシャルの1.5~2倍、分子気体では2~3倍程度大きいことが知られている。W値とイオン化ポテンシャルとのエネルギー差は、原子または分子の励起、振動、回転等に費やされているものと考えられている。

気体のW値は、種々の気体に対して色々なエネルギーの電子、陽子、 α 粒子等について多くの人々によって測定されており、信頼性の高い値が得られている。これから気体のW値は、放射線が気体中でそのエネルギーを如何にして失うか、言い換えれば、放射線の物質へのエネルギー付与の機構を解明する情報を与えてくれる。また電離現象を利用した放射線の検出という放射線計測の立場からみれば、W値は検出器出力を解析するに極めて重要な基本的物理量と言える。

放射線による液体の電離研究においても、上述のようにエネルギー付与の機構解明や、液体を使用した放射線検出器の開発という見地から見れば、液体のW値測定は重要な意義を持っている。

液体のW値は原理的には、気体のW値と同様に、物質に吸収された放射線のエネルギーと、その結果作られたイオン対の数が判れば求めることができる。しかしながら液体中では、放射線によって作られる全イオン対数を知ることは極めて困難であるので、放射線物理、化学の分野では液体のW値は、一般に特別な根拠なしに空気に対するW値を使うか、または気相において測定されたW値が、液相において

も全く同じ値を持つものとしてこれを使用している現状である。従ってこのような分野では現象を正しく解析するという意味から、液体のW値の測定が強く望まれている。

一方、保健物理的な立場から放射線と液体の相互作用を考えると、W値も含めて液体の電離現象の研究は、生体が液相にあると見なし得ること、及び有機液体を適当に組合わせれば生体組織等価物質が得られること等から、生体の放射線効果の解析にも新しい情報をもたらすものと期待される。

また液体が気体に比して密度が高く、放射線のエネルギーを効率よく吸収するので、全吸収カウンターや、組織等価液体電離箱のような検出器の開発にも液体の電離の研究は大きな貢献をするものと思われる。

要約すると、放射線による液体の電離の研究は、液体の電離機構や電離の効果を知るという放射線物理、化学、生物学的な興味のみならず、液体の電離を使った放射線検出器-液体電離箱-を線量測定や放射線防護へ応用しようとするような、保健物理や放射線計測などの研究分野からみても、極めて興味深いことと思われる。

本研究は上記のような観点から、液体としてn-ヘキサン、四塩化炭素等の絶縁性有機液体を選び、各種放射線を用いてその気相及び液相でのW値を精度良く測定し、液相でのW値が異して気相のW値と等しいか、異なる、であればどの程度の差があるか、またそれはいかなる理由によるものかを調べたものである。また絶縁性液体を充填した電離箱の特性を調べ、これを線量測定へ応用し、将来組織等価液体を使

γ線量計の開発への基礎的知見を得ようとするものである。

本論文は6章より成り、その構成は、第1章序論、第2章気相におけるγ線によるW値、第3章気相におけるα線によるW値、第4章液相におけるβ、γ線によるW値、第5章液体電離箱、第6章結論と成っている。以下各章の内容の概略を記す。

第1章では放射線による液体の電離現象に関する研究の歴史的発展をながめ、液体のW値測定、液体電離箱の研究の意義と目的について述べてある。液体のW値は放射線物理、化学、その他の分野で、その値の測定が強く望まれているにもかかわらず、過去において数例の報告しかなく、その測定値も有機液体に於ては極めて不確実であること、また液体電離箱は保健物理の分野で線量測定の有効な手段になり得ること等を指摘した。

第2章では、絶縁性液体の気相、液相におけるW値を比較する目的で、有機液体蒸気のW値を ^{60}Co のγ線を用いて測定した結果について述べてある。測定はBragg-Grayの原理から導かれる条件

- ① 電離箱の壁厚は、一次放射線の平均行程より小さく、かつ二次電子中で最大エネルギーを持つ電子の行程(平衡厚)より小さくなくてはならない。
- ② 壁物質の任意の断面における二次電子スペクトルが、空洞(電離箱の容積)の存在に影響を受けない。即ち電離箱の大きさは二次電子の行程より小さくなくてはならない。

を満たす容積 10cm^3 のステンレススチール製円筒型空洞電離箱を作製

して行った。この電離箱に α 線を照射して得られる電離電流と電離箱を填気体の壁物質に対する質量阻止能比を計算によつて求めたW値既知の標準気体のそれらとの比較から蒸気のW値を求めた。質量阻止能比の計算では分子の結合状態の違いを考慮して平均励起-電離ポテンシャルを使用した。得られた結果は、 n -ヘキサン 27.9 ± 0.9 eV, シクロヘキサン 25.3 ± 0.6 eV, ベンゼン 29.0 ± 1.0 eV, ニスル化炭素 24.7 ± 0.7 eV, シクロルメタン 26.1 ± 0.5 eV, 及び四塩化炭素 26.0 ± 0.5 eV であつた。

第3章では、 ^{210}Po の α 線を用い上記の液体蒸気のW値を測定した結果について述べた。ここでは前章で得られた結果と比較して α 線、 α 線の電離効率の差を調べると共に、将来液相における α 線によるW値と比較するための資料を得ることを目的とした。測定に使用した円筒型電離箱は長さ55cm, 直径20cmであり、マイラー窓を持つコリメーターを通して ^{210}Po の α 線を電離箱に入射させ、電離電流の気圧依存性を測定した。この関係と α 線の行程-気圧の関係から、各種気体について吸収エネルギーが等しくなる条件をみつけ、標準気体(アルゴン, 窒素, 乾燥空気)のW値をもとに、測定誤差3%以内で蒸気のW値を求めた。得られた結果は n -ヘキサンで 29.1 ± 0.5 eV, シクロヘキサンで 28.1 ± 0.6 eV, ベンゼンで 30.9 ± 0.7 eV, ニスル化炭素で 26.0 ± 0.5 eV, シクロルメタンで 26.8 ± 0.5 eV, 及び四塩化炭素で 28.7 ± 0.7 eV であつた。これを第2章で得られた β 線に対するW値と比較すると数%大きく、従来報告されていた分子量の小さい常温で気体である炭化水素について

の傾向とよく一致した。

第4章では、前章までに得られた絶縁性有機液体の気相におけるW値と比較して、液相におけるW値が異なる値を持ち、従来積用される【気相のW値 - 液相のW値】なる仮定が正しいかどうかを調べる目的で、数種の有機液体についてそのW値を調べた。測定は ^{60}Co の β 線を用いてn-ヘキサンのW値に対する各種液体のW値の比を定める相対測定と、 ^{90}Sr の β 線を用いたn-ヘキサンのW値の絶対測定を行なった。測定に用いた電離箱は共に平行平板型であり、絶対測定に用いたものは高圧電極がメタル膜で、外部より有効容積内にあるn-ヘキサンを β 線によって電離させることができる構造である。

^{60}Co を用いた相対測定では β 線によって電離箱壁から出てくる二次電子の影響を、電離電流から取除く方法でW値を求め、 ^{90}Sr を用いた絶対測定では液体に吸収されるエネルギーを電離箱と同一幾何学的条件を持つ鉄線量計を用いて決定してW値を求めた。飽和電流の推定は共にJafféの柱状再結合理論を用いた。得られた結果はn-ヘキサン 21 ± 2 eV, シクロヘキサン 19 ± 2 eV, イソオクタン 19 ± 2 eV, 二硫化炭素 20 ± 2 eV, 四塩化炭素 45 ± 5 eV, テトラクロロエチレン 46 ± 5 eV 及びトルエン 79 ± 8 eVであった。これを気相のW値と比較すると、飽和炭化水素及び二硫化炭素では液相のW値は20~25%小さく、また四塩化炭素では~70%大きいことが判明した。W値とイオン化ポテンシャルとの比をとると気相のW値より小さい値を持つものについては~2.0となり、気相における分子気体のW値の傾向と一致しているが、やや励起に費やされるエネルギーが小さいように思われる。塩

化物、及び芳香族炭化水素であるトルエンは、気相のW値に比してかなり大きなW値を持ち、従ってイオン化ポテンシャルとの比も大きくなることが判った。いずれにしても気相のW値は液相のW値に等しいという仮定は成立しないことが判った。

第5章では、絶縁性有機液体を充填した電離箱を、線量測定に用いるための基礎的検討を行なった結果について述べてある。まず液体電離箱のバックグラウンド電流の諸性質を調べ、次に液体電離箱の大きな特徴である4交点について、その性質を明らかにし、中性子、 γ 線の混在する放射線場において、QFを測定する方法について調べた。その結果 1) n-ヘキサンを充填したとき、電離箱のバックグラウンド電流は、n-ヘキサンの電気伝導度が 5×10^{-17} Ω/cm 以下では、分子の解離に基づくPlumleyの理論によく一致する、2) 5×10^{-17} Ω/cm 以上では、不純物による影響が大きい、3) 不純物には、電氣的精製で除去できるものとできないものの2種類ある、4) バックグラウンド放射線は 10^{-18} Ω/cm 程度の電気伝導度の場合には殆んど無視できる、5) γ 線による電離箱の4交点はLET ∞ と直線関係にある、6) 4交点を用いてW値を推定できる可能性がある、7) n- γ 混合放射線場におけるQF測定では、QFと4交点が逆相関係にある、こと等が判明した。

第6章は本論文の総括で、本研究によって得られた結果を要約してある。