

Gemma şularının petrol arama ve işletmesine tatbikinde yeni bir usul

Yazan: Ziya KIRMAN

Petrol çıkarmak için açılan kuyulardan jeofizik metodlarla bazı malûmat alınabilir. Derinlik absis olmak üzere grafik olarak gösterilen bu malûmat (Kuyu logu) ismini alır. Açılan kuyu istihsale elverişli ise o kuyunun logu, istihsalde karşılaşılabilecek müşküllerin hallerine ve kuyudan petrol çıkmadığı takdirde o civarda açılacak ve petrol verebilecek yeni kuyuların mevkilerini tayine imkân vermektedir. Şimdiye kadar jeofiziğin bu vadisinde tanınmış olan (Rézistivité usulü) nün tatbik sahası mahdut kalmış olduğundan sahraların (Résistivité) sinden başka has-salarından faydalanan bir metod bulmak zarureti mevcuttu, Bunun üzerine sahralardaki radyo-aktif maddelerden çıkan ve kuvvetle nüfuz edebilen gamma şularının kaydı için bir âlet yapılmış ise de bu âletin kalibrasyonu yapılmamış olduğundan alınan neticelerin tefsiri kabil olmamakla veya bunlar basma kalıp kullanılmakta idi. İşte sahraların radyoaktivité hassasını esas-tı bir şekilde istifade sahasına koyan usul Amerikada Cambridge de Massachusetts Technology Enstitüsünde yaptığı araştırmalar neticesinde müellif tarafından keşfedilmiştir.

Petrol jeoloji ve tektonolojisinin birçok müşküllerini halle yarayan ve petrolün teşekkülü hakkında önemli ip uçlarının elde edilmesine imkân verecek olan bu usulün ana hatlarını aşşa-ğıda izah edeceğiz. Mecmuanın dar çerçevesine sığdırılmasına imkân olmıyan bu usul ileride neş-redeceğimiz bir kitapta mufassal bir şekilde izahedilecektir.

MESELENİN ANALİZİ

Teorik inceleme:

Bir noktadan itibaren (l) mesafesinde (m) gram radyoaktif maddenin hasıl edeceği (q) iyo-nizasyonu,

$$q = \frac{K m}{l^2} e^{-\mu l} \quad (I)$$

formülüyle hesaplanır. Burada (K) bir sabit ve (μ), (l) mesafesini işgal eden ortamın absorp-siyon katsayısıdır.

Genel olarak absorpsiyon katsayısı (μ_c) olan ve radioaktif olmıyan bir madde ile doldurulmuş (a) yan çapında bir kuyuyu ele alalım. Bu kuyuya (t) kalınlığında, radyoaktif olmıyan ve absorpsiyon katsayısı (μ_c) olan bir maddeden yapılmış bir sondaj borusu konulduğunu ve bu borunun dışında, birim kütlede (α) gram radyoaktif madde ihtiva eden ve absorpsiyon katsayısı (μ^f) olan bir rusubî sahra bulunduğunu farzedelim. (Kuyunun AA eksenine göre alınmış olan bir yan kesiti sekil I de gösterilmiştir.)

(dr. dh) yüzey elemanın AA eksenini etrafında dönerek doğurduğu ($2\pi r.dr.dh = dm/\rho a$) hacim elemanı içindeki radyoaktif maddenin AA eksenini üzerinde bulunan bir (P) noktasında hasıl edeceği iyonizasyon,

$$dq = \frac{-2\pi K a \rho dr.dh}{(f+c+g)^2} \frac{-\mu_g g}{e} \frac{-\mu_c c}{e} \frac{-\mu_t f}{e} \quad (2)$$

dir. Burada $(f+c+g)^2$, denklem 1 deki (l^2) ye tekabül eder. Şekil 1 den,

$$\begin{aligned} g &= a \csc \varphi & c &= t \csc \varphi & g+c+f &= r \csc \varphi \\ f &= (r-a-t) \csc \varphi & h &= r \cot \varphi \end{aligned}$$

olduğu görülmektedir.

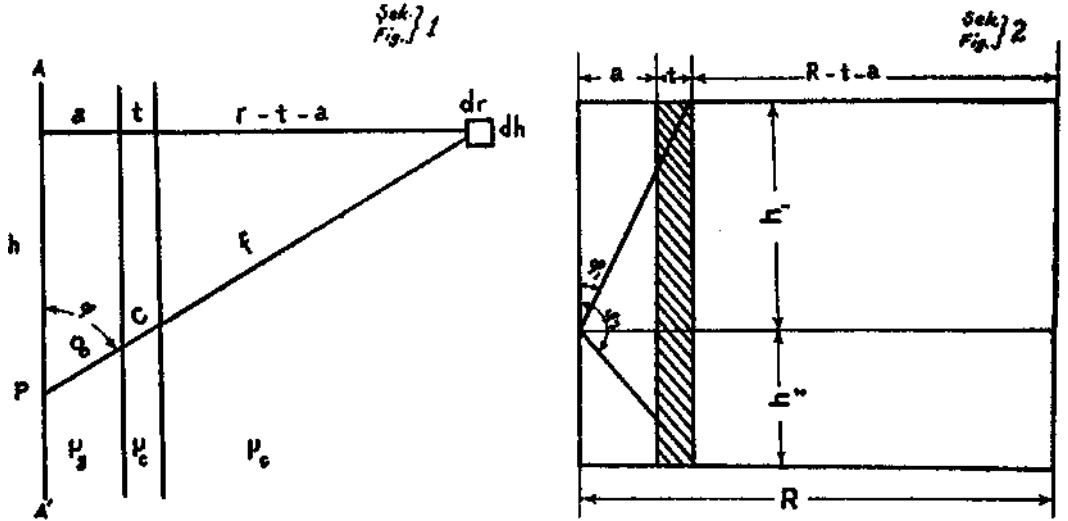
(g), (c), (g + c + f) ve f nin kıymetleriyle (h) nın (φ) ye göre türevini alarak elde edilen,

$$dh = -r \csc^2 \varphi d\varphi$$

kıymeti denklem 2 de yerlerine konulursa,

$$dq = -2\pi K a \rho \frac{-\mu_g a \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_c t \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_t (r-a-t) \csc \varphi}{e} d\varphi$$

bulunur.



Tamamen genel bir hal için yukarıdaki denklem $\varphi = \varphi_1$ ile $\varphi = \varphi_2$ ve $r = R$ ile $r = a+t$ kıymetleri (şekil 2 ye bakınız). arasında itmam edilebilir.

$$\begin{aligned} q_1 &= 2\pi K a \rho \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{-\mu_g a \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_c t \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_t (r-a-t) \csc \varphi}{e} d\varphi \int_{a+t}^R dr \\ q_1 &= 2\pi K a \rho \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{-\mu_g a \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_c \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_t (r-a-t) \csc \varphi}{e} \left. \begin{array}{l} r=a+t \\ r=R \end{array} \right\} d\varphi \end{aligned}$$

$$q_1 = \frac{2\pi k a \rho}{\mu} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{e^{-(\mu_g a + \mu_c t) \csc \varphi}}{\csc \varphi} \left[\frac{1 - e^{-\mu_t (R-a-t) \csc \varphi}}{1 - e^{-\mu_t (R-a-t) \csc \varphi}} \right] d\varphi \quad (3)$$

Kuyunun eksen diregetinde sonsuz büyük bir mesafe için $\varphi_1 = 0$ $\varphi_2 = \pi$ olacağından,

$$q_2 = \frac{2\pi k a \rho}{\mu} \left[\int_0^{\pi} \frac{e^{-(\mu_g a + \mu_c t) \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi - \int_0^{\pi} \frac{e^{-[(\mu_g a + \mu_c t) + \mu_t (R-a-t) \csc \varphi]}}{\csc \varphi} d\varphi \right] \quad (4)$$

bulunur. Aynı zamanda, rusubî sahranın eksenden itibaren ufki olarak sonsuz büyük bir mesafeye kadar yayıldığı kabul edilirse ($R \rightarrow \infty$) yapılarak,

$$q_3 = \frac{2\pi a \rho k}{\mu} \int_0^{\pi} \frac{e^{-(\mu_g a + \mu_c t) \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi \quad (5)$$

elde edilir.

Sondaj borusu bulunmayan bir kuyu için, ($t = 0$) olacağından

$$q_4 = \frac{2\pi a \rho k}{\mu} \int_0^{\pi} \frac{e^{-\mu_g a \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi \quad (6)$$

ve nihayet, kuyunun, absorpsiyon katsayısı kabili ihmal olacak derecede küçük olan bir madde ile dolu bulunduğu en özel hal için,

$$q_5 = \frac{2\pi a \rho k}{\mu} \int_0^{\pi} \frac{1}{\csc \varphi} d\varphi$$

$$q_5 = \frac{2\pi a \rho k}{\mu} (-\cos \varphi) \Big|_0^{\pi} = \frac{4\pi a \rho k}{\mu} \quad (7)$$

yazılabilir.

5 ve 6 numaralı denklemler, aşağıdaki genel şekle konulabilir:

$$q = \frac{2\pi a \rho k}{\mu} \int_0^{\pi} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi$$

Bu denklemde (z) ya $(\mu \mu_g a - \mu_c t)$ yi ve yahut $(\mu_g a)$ yı gösterir.

$$\int_0^{\pi} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi = 2 \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi$$

olduğundan,

$$q = \frac{4\pi a \rho k}{\mu} \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi = q_6 \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi$$

bulunur.

$$A_z = \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi$$

konulursa,

$$q = q_b A_z \quad (8)$$

elde edilir. Burada (q_b) sabit ve (A_z), kuyuya konulan maddelerin absorpsiyon katsayısına göre değişir olduğundan (A_z) ye, (iyonizasyon azaltma katsayısı) adı verilebilir. Denklem 4 de,

$$\begin{aligned} z_1 &= \mu_g a + \mu_c t \\ z_2 &= \mu_l (R - a - t) \end{aligned}$$

konulursa bu denklem,

$$q_3 = q_b (A_{z_1} - A_{z_1} + z_2) \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir. Aynı şekilde denklem 5,

$$q_3 = q_b A_{z_1}$$

şekline girer.

(q_2), (q_3) le bölünürse,

$$\frac{q_2}{q_3} = 1 - \frac{A_{z_1} + z_2}{A_{z_1}} \quad (10)$$

elde edilir. Yani, kuyudan itibaren (R) mesafesinin ötesinde bulunan sahralar, mecmu iyonizasyonun $A_{z_1} + z_2 / A_{z_1}$ kesrini verir.

Kuyuda sondajı borusu yoksa ve absorpsiyon da olmuyorsa $Z_1 = 0$ olacağından yukarıdaki kesir (A_{z_2}) ye eşit olur.

Şekil 1 deki (P) noktasından itibaren kuyu eksenini boyunca bilinen bir uzunluğu kaplayan sahraların meydana getireceği iyonizasyon denklem (7) den faydalanarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$q_{b1} = \frac{2 \pi a g k}{\mu_l} (-\cos \varphi) \Big|_{\varphi}^{\pi - \varphi} = \frac{4 \pi a g k}{\mu_l} \cos \varphi = q_b \cos \varphi \quad (11)$$

(h) mesafesinin daha ötesinde bulunan sahralar,

$$q_b - q_{b1} = q_b (1 - \cos \varphi) \quad (12)$$

iyonizasyonunu verir.

(11) ve (12) de gösterilen iyonizasyonlar, mecmu iyonizasyonun birer kesri olarak gösterilirse,

$$\begin{aligned} \frac{q_{b1}}{q_b} &= \cos \varphi \\ \frac{q_b - q_{b1}}{q_b} &= 1 - \cos \varphi \end{aligned} \quad (13)$$

bulunur.

Bütün diğer haller için (Az) kısmi iyonizasyonu, (φ) açısının ve (z) nin kıymetlerine göre aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$A_z = \int_0^{\varphi} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi \quad (14)$$

Muhtelif hallere tatbik edilebilecek olan yukarıdaki denklemlerle gösterilen iyonizasyonların adedi kıymetlerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki miktarların bilinmesi lâzımdır:

1. (**K**) : Eve sabiti.
2. (**μ**) : apsorpsiyon katsayısı.
3. (**a**) : sahradaki radyoaktif madde miktarı

1. EVE SABİTİ

0° de ve 760 mm. cıva basıncı altındaki 1 sm^3 hava içinde, 1 cm. mesafedeki 1 gr. radyoaktif maddeden çıkan gama şualarının doğrudan doğruya ya vasıtalı olarak 1 saniyede meydana getireceği iyon çiftleri adedine (Eve sabiti) denilir; bu sabit (k) ile gösterilir. Eve (1) parçalanma mahsulleriyle denge halinde bulunan 1 gr. radyom için (K) nın kıymetini hesaplamış ve,

$$k_{Ra} = 4,00 \times 10^9 \text{ iyon çifti/ saniye X } \text{sm}^3$$

bulmuştur.

Eve den sonra Moseley ve Robinson (2), $4,89 \times 10^9$ ve Reitz (3), $4,30 \times 10^9$ kıymetlerini elde etmişlerdir. Eve sabiti için elde edilen bu kıymetler arasındaki farklar, tecrübelerin türlü şartlar altında yapılmış ve neticelerin farklı şekillerde tefsir edilmiş olmasından ileri gelmiştir. Bu ayrılıkları doğuran sebepleri göz önünde tutan Schulze (4), $5,5 \pm 0,1 \times 10^9$ kıymetini bulmuştur.

Mc Coyve Henderson (5), neşrettiği gama şuaları bakımından 1 gr. radyomun, $6,9 \times 10^6$ gr. toryoma muadil olduğunu bulmuşlardır. Bundan faydalanarak toryom için (k Th) sabitinin kıymeti hesaplanabilir:

$$k_{Th} = \frac{k_{Ra}}{6,9 \times 10^6} = \frac{5,55 \times 10^9}{6,9 \times 10^6} = 8,0 \times 10^2$$

Radyom ve potasyom şuaları iyonizasyonlarını mukayese eden Gray ve Tarrant (6), elde ettikleri neticelerden 1 gr. potasyomun, gama şuaları tesiri bakımından $1,6 \times 10^6$ gr. radyoma muadil olduğunu bulmuşlardır.

Şu halde,

$$k_K = 1,6 \times 10^{-11} \times 5,55 \times 10^9 = 8,8 \times 10^{-2}$$

dir. Bu neticelere göre K nın kullanılacak kıymetleri şunlardır:

$$K_{Ra} = 5,55 \times 10^9 \text{ (iyon çifti/saniye X } \text{sm}^3)$$

$$K_{Th} = 8,0 \times 10^2 \text{ („ „ „)}$$

$$K_K = 8,8 \times 10^{-2} \text{ („ „ „)}$$

II. ABSORPSİYON KATSAYISI

Tecrübe ile ölçülebilen ve (μ) ile gösterilen absorpsiyon katsayısı, 4 absorpsiyon katsayısı toplamına eşittir.

1. σ_c : Compton absorpsiyon katsayısı.
2. σ_s : Compton dağılım katsayısı.
3. τ : fotoelektrik absorpsiyon katsayısı.
4. χ : çift meydana getirme (pair production) absorpsiyon katsayısı.

Bu 4 katsayının her biri, absorpsiyon husule getiren madde içinden geçen ve paralel ve homogen bir gama şuları huzmesinin bir foton kaybetme ihtimalini gösterir. Bu katsayılar, absorbe eden madde içindeki yörüngenin birim uzunluğu başına şunlardır:

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \epsilon \sigma_c \frac{ZNd}{W} \\ \sigma_s &= \epsilon \sigma_s \frac{ZNd}{W} \\ \tau &= A\tau \frac{Nd}{W} \\ \chi &= A\chi \frac{Nd}{W}\end{aligned}$$

Burada:

$\epsilon \sigma_c$: Compton absorpsiyonu için bir elektrona düşen kesit yüzeyi. (cm^2 cinsinden)

$\epsilon \sigma_s$: Compton absorpsiyonu için bir elektrona düşen kesit yüzeyi. (sm^2 cinsinden).

Z : Atom numarası

N : Avogadro sabiti. $6,02 \times 10^{23}$ atom adedi/atomgr.

d : Yoğunluk (gr/cm^3 cinsinden)

W : Atom ağırlığı.

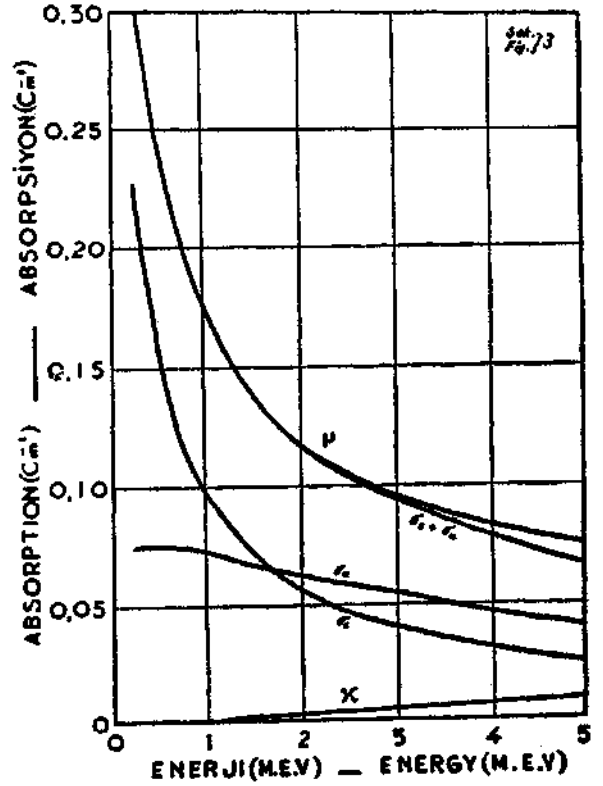
Şekil (3) gama şuar enerjisine göre (Al) için bu katsayıların adedi kıymetlerini göstermektedir. (fotoelektrik absorpsiyon katsayısı grafikteki enerjiler için kabili ihmal derecede küçük olduğundan gösterilmemiştir). Bu grafikte, Compton absorpsiyon ve dağılım katsayıları toplamı da gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere küçük enerjilerde bu toplam, bütün katsayılar toplamı olarak alınabilir. Bu hal; atom ağırlıkları az ve orta kıymette olan elemanlar için doğru olduğundan atom ağırlıkları yoğunlukları ve atom numaraları bilinen bu gibi elemanların şekil (3) yardımıyla absorpsiyon katsayılarını hesaplamak kabildir. Atom ağırlığı (W), yoğunluğu (d) ve atom numarası (Z) olan elemanın absorpsiyon katsayısı,

$$\mu = \frac{ZNd}{W} (\epsilon \sigma_c + \epsilon \sigma_s) \quad (15)$$

olacaktır. Bu formül (Al) için,

$$\mu_{Al} = \frac{Z_{Al} N d_{Al}}{W_{Al}} (\epsilon \sigma_c + \epsilon \sigma_s)$$

şeklini alır.



($\epsilon\sigma_a + \epsilon\sigma_r$) ve (N) nin sabit olduğu göz önünde tutularak, yukarıdaki iki denklem taraf tarafa bölünürse,

$$\frac{\mu}{\mu_{Al}} = \frac{Zd}{W} / \frac{Z_{Al} d_{Al}}{W_{Al}} \quad (16)$$

bulunur. (Z_{Al}), (d_{Al}) ve (W_{Al}) nin adet kıymetleri yerlerine konulursa,

$$\mu/\mu_{Al} = \frac{Zd}{W} \cdot \frac{1}{1,3} \quad (17)$$

bulunur. Verilen bir enerji için (μ_{Al}) in kıymeti, şekil (3) den elde edilebilir.

Yukarıdaki denklem yardımıyla mürekkep bir cismin absorpsiyon katsayısı hesaplanabilir. Bu takdirde (W) yerine mürekkep cismin molekül ağırlığı, (Z) yerine de atom numaralarının atom sayılarına çarpımlarının toplamı alınmalıdır. Meselâ: Silisin kimyasal formülü, (SiO_2) ortalama yoğunluğu, (2,64), ve molekül ağırlığı, 60 dır. Silis için (Z) adedi,

$$Z = 14 + 2 \times 8 = 30$$

olacağından bu kıymetler, denklem (17) de yerlerine konulursa,

$$\mu_{SiO_2}/\mu_{Al} = 1,32/1,3 = 1,015$$

yahut,

$$\mu_{SiO_2} = 1,015 \mu_{Al}$$

bulunur. Meselâ 2 milyon elektron - volt için (μ_{SiO_2}) nin kıymetini hesaplamak lâzımgelirse (μ_{Al}) nin bu enerjiye tekabül eden kıymeti şekil 3 den bulunarak yerine konulmalıdır. Böylece,

$$\mu_{SiO_2} = 1,015 \times 0,113 = 0,115 \text{ cm}^{-1}$$

elde edilir.

Bentoit ve sondaj borusu gibi karışıkların absorpsiyon katsayıları aşağıda gösterilen bir usulle bulunur:

Yoğunluğu (d_m) olan bir karışığı ele alalım. Bu karışığı teşkil eden basit veya mürekkep cisimlerden birinin hacmi (v), ağırlığı (k), yoğunluğu (d), mecmu atom numarası (Z), molekül veya atom ağırlığı (W) olsun. Karışıktaki bu mürekkep veya basit cisimden (K/W) molekül bulunacağından karışığın absorpsiyon katsayısı (μ_m) ile gösterilecek olursa,

$$\mu_m = \frac{d_m \sum \frac{KZ}{W}}{1,3 \sum K} \mu_{Al} \quad (18)$$

bulunur.

Karışığın yoğunluğu belli değilse yukarıdaki formül kullanılamaz. Fakat,

$$d_m = \frac{\sum K}{\sum v} \text{ ve } v = \frac{K}{d}$$

olduğundan bunlar yukarıda yerlerine konulursa,

$$\mu_m = \frac{\sum v \frac{Zd}{W}}{1,3 \sum v} \mu_{Al} \quad (19)$$

elde edilir.

Yukarıdaki hesaplarda rusubî sahraların ve Bentonitin mesamiyeti nazarı itibara alınmamıştır; eğer mesamiyet, sahranın birim hacmine düşen (v_p) boşluk hacmi olarak kabul edilirse mesamî bir sahranın absorpsiyon katsayısı,

$$\mu_P = (1 - v_p) \mu_r + v \mu_w \quad (20)$$

olacaktır. Burada, (μ_r) ve (μ_w) ortalama terkipteki sahranın ve mesamatı dolduran cismin absorpsiyon katsayısıdır.

HI. RUSUBÎ SAHRALARDAKİ RADYOAKTİF MADDELER (*)

Bütün rusubî sahralar ölçülebilecek miktarda radyoaktif madde ihtiva etmektedir. Bu miktar sahraların nevine göre değişir. Bunun sebebi rusubî sahraları vücuda getiren sahraların farklı oluşu, ve farklı şartlar altında rusubî sahraları vücuda getirmiş olmalarıdır.. Umumiyetle Seyillerde kum taşları ve kalkerlerden fazla radyoaktif madde bulunur.

Bir kuyu dahilinde hasil olacak iyonizasyon, kuyunun etrafını saran sahraların terkinde bulunan başlıca 3 maddeden ileri gelmektedir.

1. Uranyom serisi radyoaktif maddeleri.
2. Toryom serisi radyoaktif maddeleri.
3. Potasyom serisi radyoaktif maddeleri.

Gama şuaı veren bu maddeler arasında Uranyom ve toryom, 1/5 e yakın bir nisbette bulunur. Fakat potasyom miktarı çok mütehavvildir. Sahralardaki radyoaktif madde miktarını hesaplamak için pek çok araştırmalar yapılmışsa da bu alanda çalışanların aldıkları neticeler arasında büyük farklar bulunduğu görülmüştür.. Bu sebepten bu yazımızda adı geçen sahralardaki radyoaktif madde miktarlarının adedi kıymetlerini nazarı itibara almayacağız.

Yukanda bahsi geçen gama şuaı verici maddeler umumiyetle aşağıdaki birimler cinsinden ifade edilir:

1. Radyom birimi, (sahranın 1 gramındaki 10^{-12} gram radyom miktarı)
2. Toryom „ . („ „ „ „ 10^{-5} „ Toryom „
3. Potasyom „ . („ „ „ „ 10^{-2} „ Potasyom „

Bir sahrada a birim radyom, b birim toryom, ve c birim potasyom bulunduğunu farzedelim. Buna göre sahranın her gramında:

$$\alpha_{R_a} = a \times 10^{-12} \text{ gr. Radyom,}$$

$$\alpha_{T_b} = b \times 10^{-5} \text{ „ Toryom,}$$

$$\alpha_K = c \times 10^{-2} \text{ „ Potasyom,}$$

bulunuyor demektir. Birinci kısımdaki iyonizasyon denklemlerinde bulunan q, bu denklemlerde α yerine α_R , α_{T_b} ve α_K konularak elde edilen q_{R_a} , q_{T_b} , q_K iyonizasyonlarının toplamı olduğundan:

$$q = q_{R_a} + q_{T_b} + q_K$$

yazılabilir.

(*) "Sahra,, kelimesi "sahre,, veya taş tabakaları mânasındadır.

A new method of application of Gamma-rays to the petroleum technology

By: Z. M. Kirman

INTRODUCTION

In the last few years there has been devised a technique for recording in wells the highly penetrating radiation from radioactive elements in sediments. This process is called radioactive or gamma ray well logging. At the present stage of development it is used in the correlation of strata and for solving several problems of practical importance such as detection of cement. These measurements are done in an empirical way. Quantitative interpretation of the data obtained by this method depends on the calibration of the instrument used and upon determination of the nature of the factors influencing the radiation.

At present while many measurements have been made in the field of gamma-ray well logging, no precise calibrations of the instruments used have been made. Therefore, results have only a correlative and qualitative value. For this reason the writer thought that a theoretical analysis of the problem might be useful in calibration of the Gamma-ray well-logging instrument and may lead to a solution of the problem of interpretation of gamma-ray logs.

As a result of the research carried out by the author during his studies at the Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, U.S.A., a new method has been developed. This method has possibilities of application to various problems of petroleum geology and technology. In this article a brief outline of the theoretical part of this method is given. A full discussion of this subject will be published separately.

ANALYSIS OF THE PROBLEM (*)

Theoretical Treatment:

Ionization (q) produced by (m) grams of radioactive substance at a distance (l) is given by the equation (1)

$$(q) = \frac{Km}{l^2} e^{-\mu l}$$

where (K) is a constant and (μ) is the absorption coefficient of the medium occupying the distance (l).

Let us consider the general case of a well of radius (a) filled with a non-radioactive substance, having an absorption coefficient (μ_a) casing of thickness (t) made of non-radioactive material of absorption coefficient (μ_c) is placed in the well. Outside the casing is sedimentary rock containing (α) grams of radioactive substance per unit mass. The absorption coefficient of this formation is (μ_f)

(A section of the well taken through the axis AA' is represented by Fig. (1).)

*) For the figures of this article see the Turkish text.

The ionization (dq) produced at a point P on AA' by the gamma-rays from the radioactive substance in a volume element ($2\pi r dr dh = dm/\rho a$) formed by rotating (dr, dh) about AA', is

$$dq = \frac{-2\pi r K a \rho dr dh}{(f+c+g)^2} \frac{-\mu_g}{e} g \frac{-\mu_c}{e} c \frac{-\mu_t}{e} f \quad (2)$$

where: $(f+c+g)^2$ corresponds to $(l)^2$ in Eq. (1).

$$\begin{aligned} g &= a \csc \varphi & c &= t \csc \varphi & g+c+f &= r \csc \varphi \\ f &= (r-a-t) \csc \varphi & h &= r \cos t \varphi \end{aligned}$$

differentiating (h) with respect to (φ) alone.

$$dh = -r \csc^2 \varphi d\varphi$$

substituting these values in Eq. (2)

$$dq = -2\pi K a \rho \frac{-\mu_g a \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_c t \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_t (r-a-t) \csc \varphi}{e} dr d\varphi$$

For a general case [see Fig. (2)] the above equation may be integrated between the limits $\varphi = \varphi_1$ to $\varphi = \varphi_2$ and $r = R$ to $r = a+t$

$$\begin{aligned} q_1 &= 2\pi K a \rho \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{-\mu_g a \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_c t \csc \varphi}{e} d\varphi \int_{a+t}^R \frac{-\mu_t (r-a-t) \csc \varphi}{e} dr \\ q_1 &= 2\pi K a \rho \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{-\mu_g a \csc \varphi}{e} \frac{-\mu_c t \csc \varphi}{e} d\varphi \left[\frac{-\mu_t (r-a-t) \csc \varphi}{-\mu_t \csc \varphi} \right]_{r=R}^{r=a+t} \\ q_1 &= \frac{2\pi K a \rho}{\mu_t} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{-(\mu_g a + \mu_c t) \csc \varphi}{e} \left[\frac{-\mu_t (R-a-t) \csc \varphi}{1-e} \right] d\varphi \quad (3) \end{aligned}$$

for an infinitely large distance in the vertical direction $\varphi_1 = 0$ $\varphi_2 = \pi$

$$q_2 = \frac{2\pi K a \rho}{\mu_t} \left[\int_0^\pi \frac{-(\mu_g a + \mu_c t) \csc \varphi}{e} d\varphi - \int_0^\pi \frac{-[(\mu_g a + \mu_c t) + \mu_t (R-a-t)] \csc \varphi}{e} d\varphi \right] \quad (4)$$

If in addition the formation extends horizontally over a large distance from the point P, other words, $R \rightarrow \infty$,

$$q_3 = \frac{2\pi a \rho K}{\mu_t} \int_0^\pi \frac{-(\mu_g a + \mu_c t) \csc \varphi}{e} d\varphi \quad (5)$$

In the case of a well without casing; ($t = 0$)

$$q_4 = \frac{2\pi a \rho K}{\mu_t} \int_0^\pi \frac{-\mu_g a \csc \varphi}{e} d\varphi$$

And finally for the most specialized case in which the well is filled with a material of absorption coefficient so small as to be negligible, we have

$$\begin{aligned}
 q_s &= \frac{2 \pi a \rho K}{\mu_t} \int_0^\pi \frac{1}{\csc \varphi} d\varphi \\
 q_s &= \frac{2 \pi a \rho K}{\mu_t} (-\cos \varphi) \Big|_0^\pi = \frac{4 \pi a \rho K}{\mu_t} \quad (7)
 \end{aligned}$$

Equations (5) and (6) can be written in the general form

$$q = \frac{2 \pi a \rho K}{\mu_t} \int_0^\pi \frac{e^{-z \csc \varphi}}{[\csc \varphi]} d\varphi$$

where (z) represents either $(\mu_g a - \mu_c t)$ or $(\mu_c a)$.

Since

$$\int_0^\pi \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi = 2 \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi$$

therefore

$$q = \frac{4 \pi a \rho K}{\mu_t} \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi = q_s \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi$$

if we call

$$A_z = \int_0^{\pi/2} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi$$

then

$$q = q_s A_z \quad (8)$$

A_z in the above equation may be called the fractional reduction in ionization caused by non radioactive absorbing layers.

Substituting

$$\begin{aligned}
 z_1 &= \mu_g a + \mu_c t \\
 z_2 &= \mu_t (R - a - t)
 \end{aligned}$$

equation (4) can be written as:

$$q_2 = q_s (A_{z_1} - A_{z_1} + z_2) \quad (9)$$

similarly for equation (5)

$$q_3 = q_s A_{z_1}$$

dividing q_2 , by q_3 we find

$$\frac{q_2}{q_3} = 1 - \frac{A_{z_1} + z_2}{A_{z_1}} \quad (10)$$

In other words formation extending beyond a given distance (R) from a well would contribute the fraction $\frac{Az_1 + z_2}{A\pi}$ of the total ionization.

If there is no casing and no appreciable absorption in the well, i.e. $Z_1 = 0$, this fraction would be equal to A

Ionization produced by the formation extending to a given vertical distance from the point P in Fig. (1) can be calculated as follows:
For the case to which equation (7) applies

$$q_{b,1} = \frac{2\pi\alpha\varrho K}{\mu_t} \cos \varphi \int_{\varphi}^{\pi-\varphi} = \frac{4\pi\alpha\varrho K}{\mu_t} \cos \varphi = q_b \cos \varphi \quad (11)$$

Formation extending beyond the distance (h) would produce

$$q_b \quad q_{b,1} = q_b(1 - \cos \varphi) \quad (12)$$

expressing these equations as a fraction of the total ionization

$$\frac{q_{b,1}}{q_b} = \cos \varphi$$

$$\frac{q_b - q_{b,1}}{q_b} = 1 - \cos \varphi \quad (13)$$

For all the other cases the fractional ionization can be determined by calculating the area under the curve

$$A_z = \int_0^{\varphi} \frac{e^{-z \csc \varphi}}{\csc \varphi} d\varphi \quad (14)$$

for a given angle and the quantity represented by (Z).

In the preceding discussion equations for ionization applying to various cases were derived. To compute numerical values of ionization by means of any of these equations it is necessary to know the following quantities:

- I. (**K**) 'Eve's constant
- II. (π) the absorption coefficient.
- III. (α) the radioactive content of the rock.

I. Eve's Constant

The constant K, called Eve's constant, is the number of ion pairs directly or indirectly produced in one second and in one cubic centimeter of air (at 0° and 760 mm. Hg pressure) by gamma rays from one gram of radioactive substance at one centimeter distance. Its value for one gram of radium in equilibrium with its decay products was determined by Eve (1) to be $K_{Ra} = 4.00 \times 10^9$ (ion pairs per cubic centimeter per second). Later Moseley and Robinson (2) obtained the value 4.89×10^9 , Reitz (3), 4.30×10^9 . The variation among these values arises from different interpretations of the resolution of the method and variation in the experimental conditions. Taking these account Schulz (4) found $(5.5 \pm 0.1) \times 10^9$.

Eve's constant for thorium may be calculated from Eve's constant for radium as follows:

one gram radium was found by McCoy and Henderson (5) to be equivalent in gamma ray effect to 6.9×10^6 grams of thorium.

Hence,

$$K_{Th} = \frac{K_{Ra}}{6.9 \times 10^6} = \frac{5.55 \times 10^9}{6.9 \times 10^6} = 8.0 \times 10^2$$

Gray and Tarrant (6) compared the gamma ray ionization produced by radium and potassium. According to their data one gram of potassium is equivalent in its gamma ray effect to 1.6×10^{11} gram radium, thus.

$$K_K = 1.8 \times 10^{-11} \times 5.55 \times 10^9 = 8.8 \times 10^{-2}$$

Therefore the following values have been chosen for this research:

$$K_{Ra} = 5.55 \times 10^9 \text{ (Ion pairs per cm}^3 \text{ per second)}$$

$$K_{Th} = 8.0 \times 10^2 \text{ (ion pairs per cm}^3 \text{ per second)}$$

$$K_K = 8.8 \times 10^{-2} \text{ (ion pairs per cm}^3 \text{ per second)}$$

II. The Absorption Coefficient.

The observable absorption coefficient (μ) is the sum of four absorption coefficients: (1) σ_a , Compton absorption coefficient, (2) σ_s , Compton scattering coefficient, (3) τ photo-electric absorption coefficient, (4) χ pair production absorption coefficient. Each one of these four coefficients represents the probability of loss of a photon from a beam of parallel and homogeneous gamma rays as a result of collisions in an absorber. For length of path in the absorber these probabilities are:

$$\begin{aligned} \mu_a &= e \sigma_a Z N d / W \\ \mu_s &= e \sigma_s Z N d / W \\ \mu_\tau &= A \tau N d / W \\ \mu_\chi &= A \chi N d / W \end{aligned}$$

where $e \sigma_a \equiv$ Cross section (in cm^2) for Compton absorption for a single electron.

$e \sigma_s \equiv$ Cross section (in cm^2) for Compton scattering for a single electron.

$Z \equiv$ Atomic number.

$N \equiv$ Avogadro's number (6.02×10^{23} atoms per atomic weight).

$d \equiv$ Density (in grams per cm^3).

$W \equiv$ Chemical atomic weight.

Figure (3) represents numerical values of these coefficients for aluminum as plotted against the gamma ray energy, (not including photo-electric absorption which is insignificant for small energies). In this figure also is included a curve of the sum of compton absorption and Compton scattering coefficients. For the lower energies this latter coefficient can practically be taken the total absorption coefficient. Since this is true for all the lighter elements it is possible to calculate with aid of figure (3) the absorption coefficient of any element of moderate atomic weight, provided that atomic weight, atomic number, and density of the element are known.

An element having an atomic weight (W), density (d) and atomic number (Z) would have an absorption coefficient,

$$\mu = \frac{ZNd}{W} (e\sigma_a + e\sigma_s) \quad (15)$$

The absorption coefficient μ_{Al} for aluminum, therefore is,

$$\mu_{Al} = \frac{Z_{Al} N_{d_{Al}}}{W_{Al}} (e\sigma_a + e\sigma_s)$$

Dividing these equations, noting that $(e\sigma_a + e\sigma_s)$ and (N) are the same for all elements, the following expression is obtained

$$\frac{\mu}{\mu_{Al}} = \frac{Zd}{W} / \frac{Z_{Al}d_{Al}}{W_{Al}} \quad (16)$$

Substituting numerical values for Z_{Al} , d_{Al} and W_{Al}

$$\mu/\mu_{Al} = \frac{Zd}{W} \times \frac{1}{1,3} \quad (17)$$

μ_{Al} for a given energy can be obtained from figure (3).

Absorption coefficients of a chemical compound also can be calculated from the above equation by substituting the molecular weight of the compound for the atomic weight W, and taking the sum of the atomic numbers, each multiplied by the number of atoms in one molecule. For example, silica has the chemical formula (SiO_2) the average density 2.64 and the molecular weight 60. Z for silica would be the sum of the atomic number of silicon and twice the atomic number of oxygen, or

$$Z = 14 + 2 \times 8 = 30$$

Substituting this in Equation (17)

$$\mu_{SiO_2}/\mu_{Al} = 1,92/1,3 = 1,015$$

or

$$\mu_{SiO_2} = 1,015 \mu_{Al}$$

From Figure 3, μ_{Al} for two million electron volts is 0.113 per centimeter; μ_{SiO_2} for the same energy would be

$$\mu_{SiO_2} = 1,015 \times 0,113 = 0,115 \text{ cm}^{-1}$$

For bentonite, steel, and any other substance which is a mixture of several compounds the following method may be used:

Let us take a mixture of density d_m . If one of the constituent chemical compounds of this mixture has a volume v, weight K, density d, total atomic number Z, molecular weight W; then there would be K/W moles of this compound in the mixture and the absorption coefficient

for the mixture would be,

$$\mu_m = \frac{d_m}{1,3} \sum \frac{KZ}{W} \mu_{Al} \quad (18)$$

If the density of the mixture is unknown the above formula cannot be used, but substituting,

$$d_m = \frac{\sum K}{\sum V} \quad \text{and} \quad V = \frac{K}{d}$$

we have

$$\mu_m = \frac{\sum V \frac{zd}{w}}{\sum K} \mu_{Al} \quad (19)$$

In the above calculations of absorption coefficients of sedimentary rocks and bentonite porosity was not taken into account. If the porosity defined as a volume V_p of pore space in unit volume of porous rocks, absorption coefficient μ_p of a rock would be

$$\mu_p = (1 - V_p) \mu_r + V \mu_w \quad (20)$$

where: μ_r and μ_w are respectively the absorption coefficients of these average rocks as a function of percentage porosity. Pore spaces are considered filled with water.

III. Radioactive Content of Sedimentary Rocks

All sedimentary rocks contain measurable quantities of radioactive elements. This quantity varies to a considerable extent among the different types of such rocks depending on the source rock from which both sedimentary rock and its radioactive content are derived and on the conditions during the processes of weathering and sedimentation. In general, shales are believed to be more radioactive than sandstones and limestones.

Gamma rays which cause the ionization in a well come chiefly from these sources contained in the surrounding rock:

1. Uranium series of radioactive elements
2. Thorium series of radioactive elements
3. Potassium series of radioactive elements.

Among these gamma ray emitters, uranium and thorium tend to exist at a constant ratio of the order of five to ten. Potassium is very variable.

A great deal of research has been done on the determination of the radioactive content of rocks, but a wide disagreement exists in the data given by different workers in this field. Therefore, no numerical values for radioactive contents of the various sediments have been assumed in this report.

It is customary to express the above mentioned gamma ray emitters in the following units:

Potassium in 10^{-12} grams per gram of rock

Thorium in 10^{-5} grams per gram of rock

Radium in 10^{-2} grams per gram of rock

If a, b, c, denote respectively the number of units of radium, thorium and potassium in a given rock,

$$\alpha_{R_a} = a \times 10^{-12} \quad \text{grams per gram of rock}$$

$$\alpha_{T_b} = b \times 10^{-5} \quad \text{grams per gram of rock}$$

$$\alpha_K = c \times 10^{-2} \quad \text{grams per gram of rock}$$

Substituting these three values in any of the equations in section (1), we obtain the three components of ionization.

If we call the total ionization q , then,

$$q = q_{\alpha} + q_{\beta} + q_{\gamma}$$

BIBLIOGRAFYA — BIBLIOGRAPHY

- (1) Eve, A. S., Phil. Mag. 21, pp. 26—40, (1911).
- (2) Mosely, H.G.J. and Robinson, H., Phil. Mag. 23, p. 327 (1914).
- (3) Reite, A.W., Zeits. f. Physik 69, p. 259, (1931).
- (4) Schulze, R., Ann. d. Physik 31.7, pp. 633 — 660, April 1938.
- (5) McCoy and Henderson, J. Am. Chem. Soc. 40, p. 1916, (1918).
- (6) Gray, L.H. and Terrent, G.T.P., Proc. R. Soc. A., 143, pp. 681 — 706, (1934).

